

운방전에 의해서 방사된 자장 파형의 파라미터

Parameters of the Magnetic Field Waveform Radiated from Cloud Lightning Discharges

이복희 · 안창환 · 장석훈

Bok-Hee Lee · Chang-Hwan Ahn · Sug-Hun Chang

요 약

본 논문에서는 운방전에 의해서 방사되는 자장 파형을 측정할 수 있는 루프형 자장 센서를 이용한 계측장치를 제작하고, 뇌방전과 관측점 사이의 거리측정계를 제안하였다. 정극성과 부극성의 자장 파형에 대한 중첩 펄스의 시간 간격, 영점 교차시간과 백분율 반전딥의 깊이 등의 파라미터를 뇌방전 지점과 관측 지점 사이의 거리에 따라 통계적으로 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 운방전에 의해서 발생한 자장 파형의 파두 부분에는 수 개의 중첩 펄스가 관측되었으며, 이들 펄스 사이의 평균 시간 간격은 약 4 μ s이었다. 또한, 양극성 특성이 명확하게 나타났으며, 백분율 반전딥의 깊이는 약 57~65 %이었다. 뇌방전 지점에서 관측 지점 사이의 거리가 증가할수록 영점 교차시간은 짧아졌다.

Abstract

In this paper, the recording device for measuring the magnetic field waveforms associated with the cloud lightning discharges was made by the loop-type magnetic field sensor, and the measuring system of a distance between lightning stroke point and observatory site was proposed. The parameters including the time interval of superimposed pulses, zero-to-zero crossing time and the percentage depth of the dip for the positive and the negative magnetic field waveforms were statistically analyzed as a function of the distance between the lightning discharge point and the observatory site. The results could be summarized as follows: Several superimposed pulses were observed at the initial front part of the magnetic field waveform produced by cloud lightning discharges, and the mean time interval between superimposed pulses was about 4 μ s. Also, the bipolar characteristic appeared significantly and the percentage depth of the dip was about 57~65 %. It was known that the zero-to-zero crossing time of the electromagnetic fields is gradually decreased as a distance between lightning discharge point and observatory site is increased.

「이 연구는 1998년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.」

인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부(School of Electrical and Computer Eng., Inha University)

· 논문 번호 : 990403-036

· 수정완료일자 : 1999년 6월 25일

I. 서 론

최근 산업의 현대화와 고도의 정보화 사회가 발전함에 따라 정보·통신기기, 제어기기, 자동화기기 등 각종 전기·전자 기기의 이용 증대와 더불어 신뢰성 및 안정적 사용의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 한편 정보·통신 기기는 각종 반도체 부품 및 기기의 소형화, 고밀도화, 집적화가 이루어지면서 뇌서지 등의 순시적 과전압에 대한 내전압 특성이 낮으므로 이들 기기의 운용에 대한 효율성과 신뢰도를 저하시키는 사고가 급증하고 있다^{[1],[2]}. 따라서 뇌방전으로 인해 발생하는 피해를 최소화시키고, 적절한 대책을 수립하기 위해서는 뇌방전 현상에 대한 다각적인 기초 특성의 분석에 대한 연구가 요구되고 있다. 뇌방전 특성은 전기적 현상과 직접적으로 관련되므로 뇌방전에 의해서 방사되는 전장과 자장의 측정으로 이루어져 왔으며, 이에 수반되는 전장과 자장 파형의 분석을 통해 뇌방전의 발생 위치와 극성, 강도, 뇌방전의 진전프로세스, 뇌격전류 등 여러 가지 정보를 알아낼 수 있다^{[3]~[7]}.

외국에서는 고정밀 계측장치와 인공위성 등 첨단 관측설비를 이용하여 뇌방전 현상의 관측 및 각종 파라미터의 분석, 뇌방전의 진전 기구 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 우리나라에서는 뇌방전에 의해서 전자·정보·통신 기기의 고장이나 사고가 빈번하게 발생하고 있음에도 불구하고 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 또한 뇌방전에 의해서 발생하는 전자파 장해를 방지하기 위해서는 뇌방전시에 발생하는 전자파의 세기와 주파수 성분 등의 기초 특성의 측정과 해석이 필수적 요건이다. 전자파는 전장과 자장이 동시에 발생하게 되며, 전장은 금속차폐장치를 사용하게 되면 비교적 용이하게 방해작용을 저감 또는 방지할 수가 있다. 그러나 자장의 차폐는 대단히 어려우며, 차폐시키는 데에도 상당히 많은 비용이

소요되고, 차폐효율 또한 대단히 낮으므로 방지대책의 수립이 대단히 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전자파 장해의 주 요인인 뇌방전에 의해서 발생하는 자장 파형의 측정과 특성의 분석에 대한 내용을 중점적으로 다루었다.

뇌방전은 낙뢰와 운방전으로 분류되며, 본 논문에서는 운방전에 의해서 발생하는 자장 파형의 특성과 파라미터를 분석하기 위해서 수행된 연구결과에 대해서 중점적으로 기술하였다. 운방전에 의해서 발생하는 자장 파형의 측정시스템은 루프형 센서와 차동증폭기, 적분기, 노이즈필터 등의 신호처리를 위한 회로로 구성되었으며, 측정된 자장 신호는 자동데이터 취득시스템을 통해 디지털화되고 컴퓨터에 저장된다. 또한 뇌방전 발생지점부터 관측지점까지의 거리를 측정하기 위해서 자장 신호와 뇌성(천둥소리)의 도달시간차를 이용한 뇌방전 거리측정계를 구성하였다. 교정실험을 통해 측정시스템의 응답 감도와 주파수 대역을 결정하였으며, 관측된 자장 신호의 백분율 반전딴의 깊이, 영점교차시간, 상승 펄스의 시간 간격 등 주파수 성분에 관련된 파라미터의 통계적 특성을 분석하고 검토하였다.

II. 실험 장치 및 방법

2-1 자장 파형의 측정시스템

루프형 자장 센서의 재료로는 동축케이블(특성 임피던스 : 50Ω , RG-58A/U)을 사용하였으며, 자성재료를 포함하지 않으므로 비선형적 특성이 나타나지 않기 때문에 수 십 MHz 이상의 고주파 성분을 함유하는 뇌방전에 의해서 발생하는 시변성 자장의 측정이 가능하다^[8]. 뇌방전시에 발생하는 자속밀도는 대략 $10^{-6} \sim 10^{-8} T$ 정도이므로 응답 감도를 고려하여 루프형 센서의 한 변의 길이를 0.5 m로 제작하였으며, 또한 뇌방전시 전장의 변화도 동시에 발생하기 때문에 전장의 변화에 의하여 센

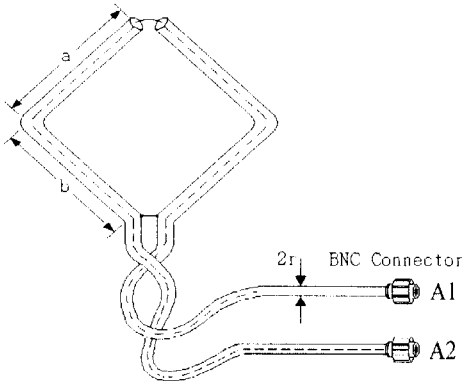


그림 1. 동축케이블을 이용한 루프형 자장 센서의 개략도

Fig. 1. A schematic diagram of the loop magnetic field sensor made by coaxial cable.

서의 차폐선에 유기된 기전력을 서로 상쇄시키기 위하여 센서의 중앙 부분을 절단하였다^{[9],[10]}. 또한 루프형 자장센서의 출력 단자는 센서의 감지전압을 신호의 왜곡 없이 차동증폭기로 입력시키기 위하여 BNC커넥터로 연결하였으며, 루프형 자장센서의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

루프형 자장 센서는 자속밀도의 시도함수를 검출하게 되므로 동상모드 노이즈를 제거하고 자장 신호로 복원시키기 위해 차동증폭기와 능동형 적분기를 구성하여 적용하였다. 차동증폭기로는 LH0032(입력임피던스: 약 $10^{12} \Omega$, 주파수대역: DC ~ 70 MHz)를 사용하였고, 증폭기 앞단에는 60 Hz의 노이즈성분을 제거하기 위한 필터를 설치하였으며, 차동증폭기와 능동성 적분기의 회로도들을 그림 2에 나타내었다. 또한 과도한 크기의 서지가 입사하였을 때 차동증폭기를 보호하기 위한 다이오드, 출력의 안정화를 위한 고역 필터, 동상 신호의 제거를 최적화시키는 20 k Ω 의 전위차계(potentiometer)를 적용하였다.

구성된 자장 측정기의 교정 실험에는 IEEE-664 규정에서 추천하는 방법을 적용하였으며^[11], 주파수대역은 270 Hz ~ 2.3 MHz이고 응답감도는 7.81 nT/

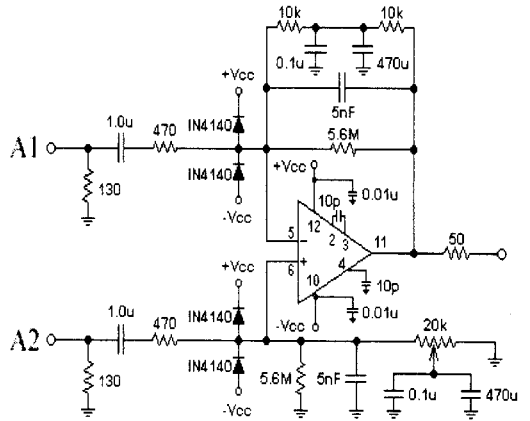


그림 2. 자장 측정시스템에 적용한 차동증폭기와 능동성 적분기의 회로도

Fig. 2. Circuit diagram of the differential amplifier and active integrator for measuring the magnetic field.

mV이었다.

2-2 뇌방전 거리측정시스템

뇌방전의 발생 위치에서 관측 지점까지의 거리를 측정하기 위해서 자장 센서와 마이크로폰을 이용한 뇌방전 거리측정시스템을 설계·제작하였다. 뇌방전에 의해 발생하는 전자파는 대기중에서 거의 빛의 속도($v_l = 3 \times 10^8$ m/sec)로 전파되며, 뇌성(천둥소리)은 음속($v_s = 340$ m/sec)으로 진행되므로 이들 두 가지 신호는 뇌방전 발생 지점에서 동시에 출발하여 관측 지점에는 시간차를 두고 도달하게 된다. 즉, 뇌방전의 발생위치에서 관측지점까지의 거리를 l m라고 하면 전자파와 음파의 도달시간은 다음의 식으로 구해진다.

$$t_l = \frac{l}{v_l} \quad (1)$$

$$t_s = \frac{l}{v_s} \quad (2)$$

따라서 음파와 전자파의 도달시간차 t sec는

$$t = t_s - t_l = \left(\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_l} \right) l \quad (3)$$

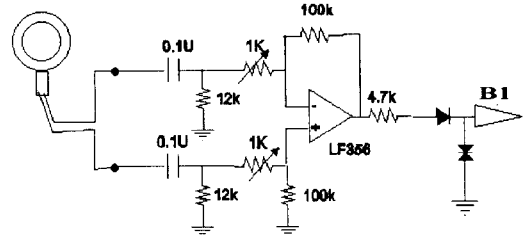
이므로 이를 측정하게 되면 뇌방전의 발생위치에서 관측점까지의 거리는 다음과 같이 구해진다.

$$l = \frac{v_l - v_s}{v_l v_s} t \quad (4)$$

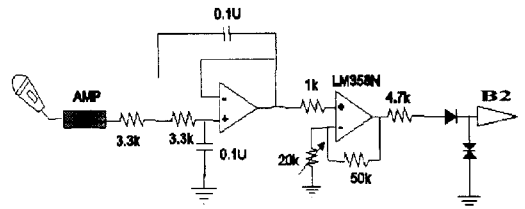
이와 같이 음파와 전자파의 전파속도의 차이를 이용하여 음파와 전자파의 도달시간차를 측정함으로써 뇌방전 거리를 산출할 수 있는 측정시스템을 구현하였으며, 이의 개략도를 그림 3에 나타내었다.

뇌방전시에 발생하는 자장 신호를 반경 220 mm, 감긴수 15회의 루프형 자장 센서를 이용하여 검출하고, 마이크로프로세서의 입력으로 사용하기 위해 차동증폭하였다. 뇌방전에 의해 발생하는 자장 파형은 일반적으로 수 kHz 이상의 주파수 성분이므로 상용 주파수 성분의 검출에 의한 거리측정계의 오동작을 방지하기 위해 차단주파수 130 Hz인 고역통과필터를 적용하였다. 후단의 제너다이오드는 마이크로프로세서를 이상 과전압으로부터 보호하기 위해서 사용하였다.

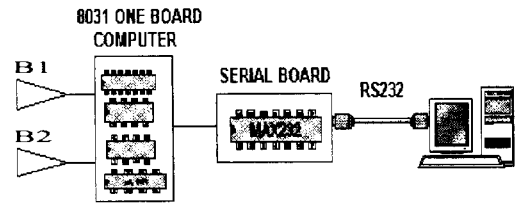
또한 뇌성 신호는 고감도형 마이크로폰과 저역 통과필터를 이용하여 검출한다. Arabadzhi, Latham^[12] 등에 의한 뇌성의 주파수 분석에 대한 연구에 의하면 뇌성은 주로 200 Hz 부근에서 최대값을 나타낸다. 따라서 다른 노이즈로부터 뇌성 신호를 구별하기 위해서는 저역 통과 필터가 필요하므로 480 Hz의 차단주파수를 가지는 저역 통과필터를 적용하였다. 또한, 마이크로프로세서의 충분한 크기의 입력 신호를 얻기 위해서 증폭비의 조절이 가능한 회로를 구성하였다. 검출된 자장 신호와 뇌성 신호가 각각 원칩 마이크로프로세서의 입력단에 시간차를 두고 입사하게 되면 두 신호의 도달 시간차를 계산하여 뇌방전이 발생한 위치와 측정 지점 사이의 거리를 연산하게 된다. 먼저 자장 신



(a) 자장 신호 검출기의 회로도



(b) 음파 신호 검출기의 회로도



(c) 신호 처리시스템의 계통도

그림 3. 뇌방전 거리측정시스템의 개략도

Fig. 3. System for measuring a distance between cloud lightning discharge points and observatory site.

호의 검출에 의해 마이크로프로세서에 인터럽트가 발생하면 내부 클럭수가 계수되기 시작하여 음파 신호의 검출에 의해 정지하게 되고, 두 신호의 도달시간을 10 msec 단위로 계산된다. 연산된 결과는 RS232 포트로 연결된 개인용 컴퓨터로 전송되어 데이터를 저장하게 된다. 이때 일반적으로 뇌성의 검출이 가능한 거리는 약 25 km이내이므로 전자파는 검출되었으나, 음파 신호가 검출되지 않을 경우에는 자동으로 대기 상태로 복귀되도록 설계하였다. 마이크로프로세서로는 8031 One board computer를 사용하였으며, C언어와 어셈블리어로 신호

처리 프로그램을 구성하였다.

2-3 데이터 취득시스템

뇌방전은 매우 불규칙적이고, 순시 다발적으로 일어나기 때문에 뇌방전이 발생하는 순간을 포착하여 데이터를 얻기 위해서는 항상 기록대기상태에 있다가 뇌방전으로 발생한 자장의 신호에 의해서 자동적으로 관측하는 데이터 취득시스템이 필요하다. 본 연구에 적용한 데이터 취득시스템은 뇌방전시 발생하는 자장에 의하여 트리거되며, 검출된 신호를 12 비트의 분해능으로 100 ns~500 μ s의 시간 간격으로 샘플링하여 저장할 수 있는 과도신호분석기(Nicolet Pro.30)을 적용하였다. 과도신호분석기에 입력된 자장 신호는 GPIB 포트를 통해 개인용 컴퓨터에 전송되어 저장된다.

2-4 실험 방법

뇌방전이 발생할 때 뇌운 중에 존재하는 전하의 이동과 소멸 등에 수반하여 나타나는 자장 및 측정 지점으로부터 뇌방전 발생 지점까지의 거리를 측정하기 위해서는 자장 신호와 뇌성 신호의 검출이 용이한 장소가 필요하다. 따라서 루프형 자장 센서와 뇌방전 거리측정용 검출기가 위치한 주변의 철제 구조물 및 건축 구조물의 영향이 비교적 적은 인하대학교 공과대학 건물의 옥상에 설치하였다. 자장 및 뇌성 검출용 센서로부터 신호처리 회로부와 데이터 취득시스템까지는 약 30 m 정도 떨어져 있으나, 자장 센서의 재료와 동일한 2중으로 차폐된 동축케이블로 검출된 신호를 전송함으로써 신호의 변형은 모의실험결과 거의 나타나지 않았다.

뇌격거리 관측시스템과 주파수 스펙트럼 분석시스템은 검출된 자장 신호에 의해서 동시에 트리거되며, 데이터를 자동적으로 기록하게 된다. 측정된 자장 신호 데이터를 출력시켜 상승 펄스의 시

간 간격, 영점 교차시간과 반전딥의 깊이 등 자장 파형에 함유되어 있는 주파수 성분에 관련된 각종 파라미터에 대한 뇌방전 발생 거리별 특성을 통계적으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3-1 운방전에 의해서 방사된 자장 파형의 특성

뇌운안에 있는 정(+)전하운과 부(-)전하운 사이 또는 뇌운과 뇌운 사이에서 발생하는 방전을 운방전이라고 한다. 그림 4에 운방전에 의해서 발생한 자장 파형의 대표적인 예를 나타내었으며, 낙뢰에 의하여 발생한 자장 파형과는 매우 다른 형상을 나타내고 있다^{[13],[14]}. 운방전에 의해서 발생하는 자장 파형의 특징을 살펴보면 주 방전이 일어나기 전에 정(+)전하와 부(-)전하 사이에서 발생한 것으로 보이는 간헐적인 리더가 진전된다. 또한 주 방전에 의해서 발생한 자장 파형은 양극성(bipolar)의 특징이 두드러지게 나타났다. 이러한 양극성의 자장 파형은 뇌운내에 존재하는 정전하와 부전하가 리더의 진전에 의해 서로 만나 재결합에 의한 전하운의 소멸과정 동안에 발생하는 특성이라고 볼 수 있다.

또한 주 방전에 의한 자장 파형의 피크 이전의 상승 부분에는 수 개의 미세한 펄스들이 중첩되어 나타나는 양상을 보이는 것이 전반적인 특징이다. 이와 같이 주 방전 이전의 미세한 펄스상의 신호는 정·부극성의 전하운 사이를 진전하는 리더가 단일 형상이 아니고 여러 개의 분기 채널을 가지고 있기 때문인 것으로 추정된다. 운방전에 의해 발생한 자장 파형은 뇌방전이 발생되어 종료되기까지의 시간이 비교적 짧으며, 고주파의 미세한 펄스를 많이 포함하고 있으므로 방사 성분이 주로 나타난다. 또한 뇌방전에 의해서 발생한 자장 파형은 유도 성분과 방사 성분의 감쇠 특성이 뇌방전의 발생 지점과 관측 지점 사이의 거리에 따라 다

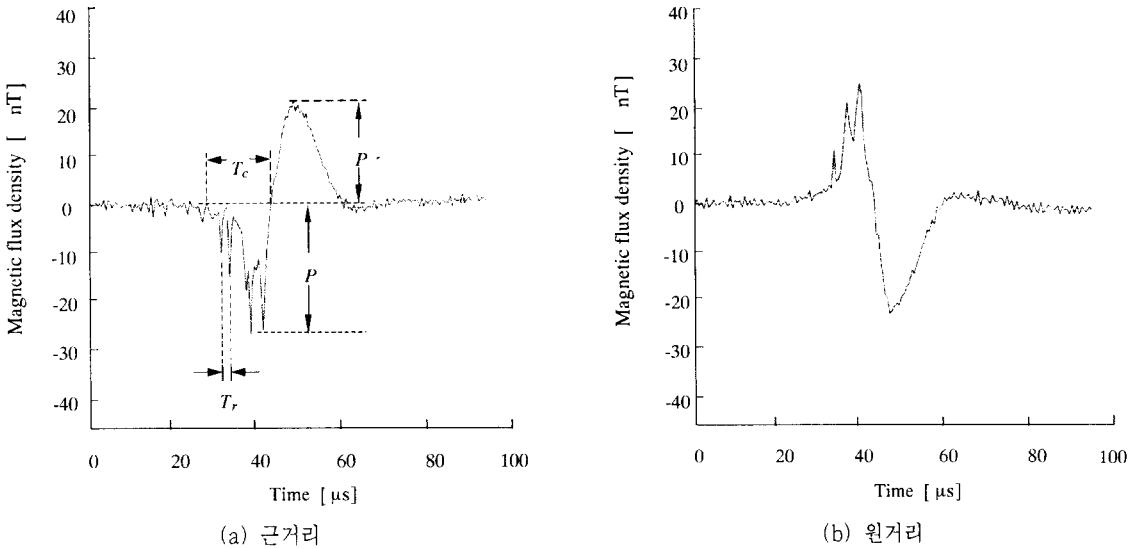


그림 4. 운방전에 의해서 발생한 대표적인 자장 파형의 예
 Fig. 4. Typical example of the magnetic field waveforms produced by a cloud discharge.

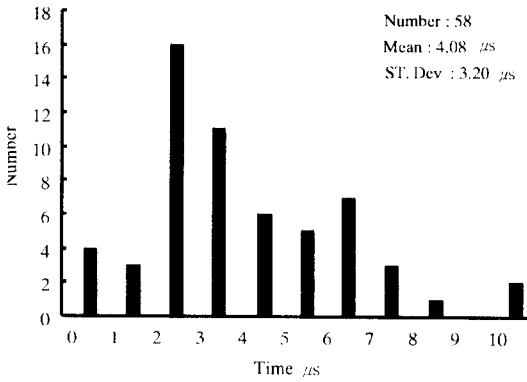
르게 나타났다. 뇌방전이 근거리에서 발생하는 경우 자장의 파형은 전체적으로는 원거리에서 발생한 뇌방전에 의한 파형과 동일한 양상이지만 고주파 성분의 미세한 펄스가 많이 포함되어 있다.

3-2 운방전시 방사된 자장 파형의 통계적 분석

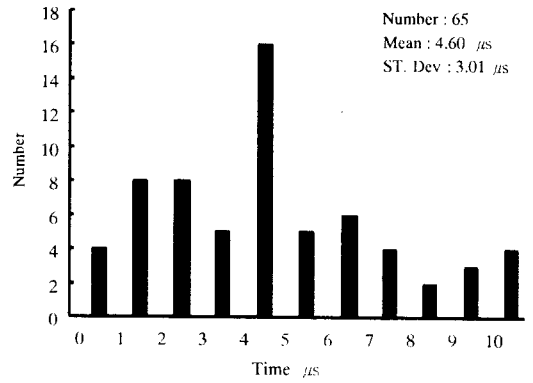
뇌방전시 방사된 자장 파형에는 이의 방사원인 뇌격 전류에 관한 정보도 포함되어 있으며, 자장 파형에 함유되어 있는 주파수 성분과 관련된 파라미터에 대해서 중점적으로 통계적인 분석을 수행하였다. 운방전에 의해서 발생한 자장 파형에 대해 정극성과 부극성으로 나누어 분석하였으며, 극성의 구분을 위해서 동시에 관측된 전장 파형을 기준으로 극성을 판정하였다. 본 논문에서는 대기중에 나타나는 전자장의 극성을 나타내는 일반적인 방법으로 부극성 전하의 하향 이동이나 정극성 전하의 상향 이동에 의한 자장 변화를 부극성으로 하였다. 반대로 부극성 전하의 상향 이동이나 정극성 전하의 하향 이동의 경우를 정극성으로 나타내었다^[12].

그림 4(b)에 나타난 주 방전에 의한 자장 파형의 상승 부분에 나타난 중첩펄스의 시간 간격(T_r), 뇌방전 위치와 관측 지점사이의 거리에 따른 백분율 반전딥의 깊이($\frac{P}{P} \times 100 \%$)와 영점교차시간(T_c) 등 자장 파형에 함유되어 있는 주파수 성분에 대한 개략적인 분석이 가능한 파라미터를 통계적으로 분석하였다.

주 방전의 상승 부분에 나타난 미세한 중첩 펄스의 시간 간격분포를 그림 5에 나타내었다. 하나의 자장 파형에 대한 중첩 펄스의 시간 간격도 각각의 펄스 사이에는 차이가 있었으며, 여기에서는 각 자장 파형에 대한 중첩 펄스의 시간 간격의 평균값을 취하였다. 자장 파형의 상승 부분에 나타난 중첩 펄스의 시간 간격은 뇌방전 위치와 관측 지점사이의 거리에 대한 의존성이 거의 없었으므로 전체적인 분포를 나타내었다. 정극성의 경우, 양극성 펄스의 상승 부분에 나타난 전체 데이터에 대한 중첩 펄스의 시간 간격의 평균은 $4.08 \mu s$ 이고, 부극성에서는 $4.60 \mu s$ 이었다. 대체로 $2 \sim 6 \mu s$ 사이에 많이 분포되어 있으며, 부극성의 경우가 넓은 범위



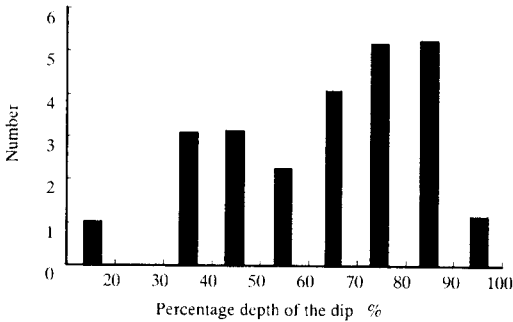
(a) 정극성



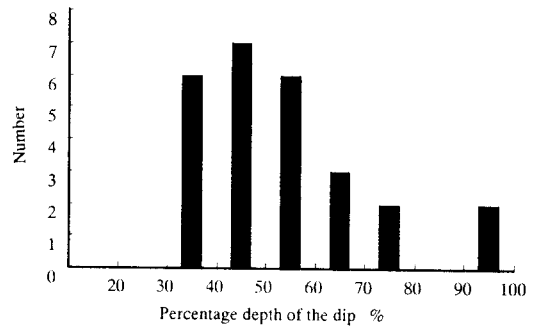
(b) 부극성

그림 5. 정극성과 부극성 자장 파형의 상승 부분에 나타난 중첩 펄스의 시간 간격의 분포

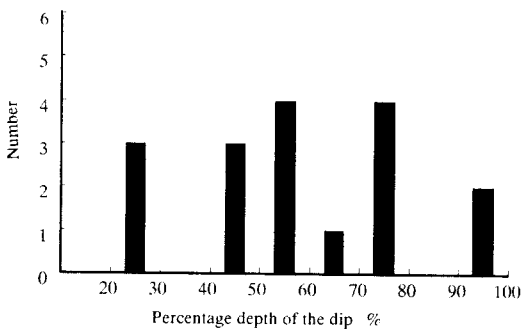
Fig. 5. Distributions of the time intervals between the pulses superimposed on the rise part for the positive and the negative magnetic field waveforms.



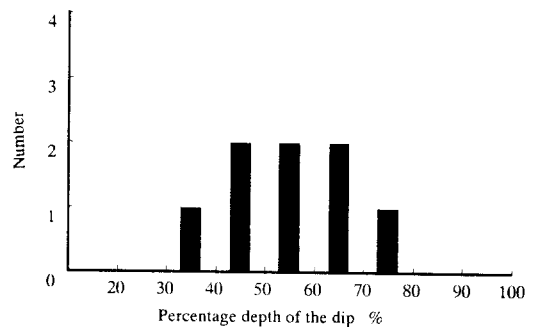
(a) 관측거리 : 0-5 km



(b) 관측거리 : 5-10 km



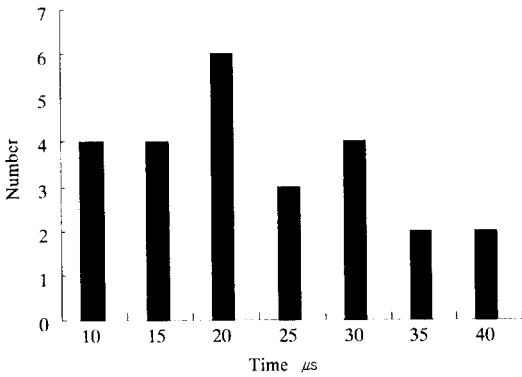
(c) 관측거리 : 10-15 km



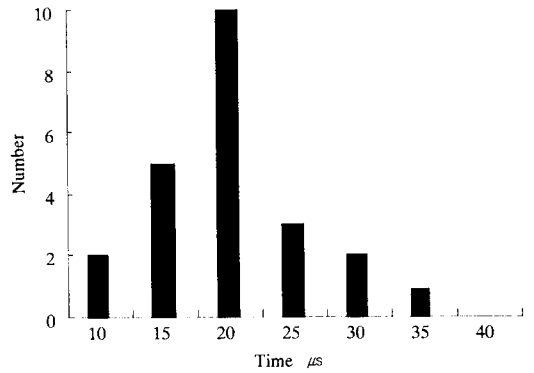
(d) 관측거리 : 15-20 km

그림 6. 백분율 반전딥의 깊이의 분포

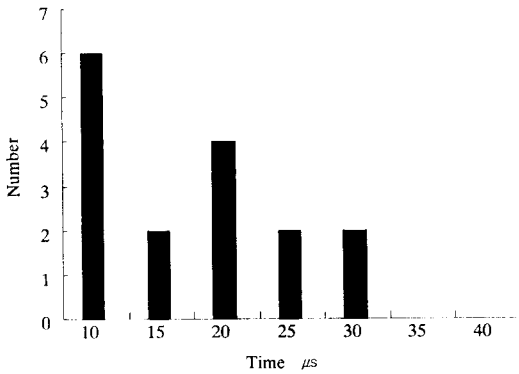
Fig. 6. Distributions of the percentage depth of the dip.



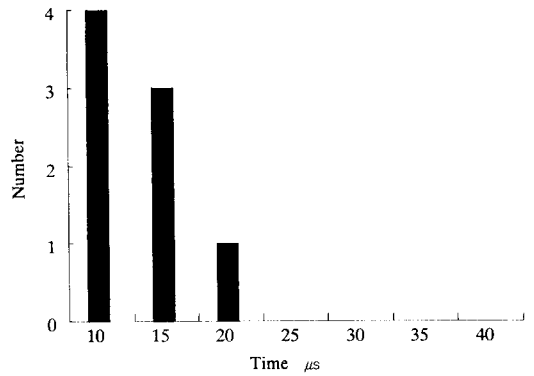
(a) 관측거리 : 0~5 km



(b) 관측거리 : 5~10 km



(c) 관측거리 : 10~15 km



(d) 관측거리 : 15~20 km

그림 7. 영점교차시간의 분포

Fig. 7. Distributions of the zero-to-zero crossing time.

에 분산되어 있다. 이것은 부극성의 경우가 정극성에 비해서 전구 방전인 리더의 진전 양상이 불규칙적으로 일어나는 것으로 추정할 수 있다.

운방전에 의해서 발생한 자장 파형을 뇌방전의 발생 지점에서 관측 지점까지의 거리에 따른 백분율 반전딥의 깊이, 영점 교차시간을 5 km의 구간으로 나누어 분석하였으며, 각 파라미터에 대한 분포도를 그림 6과 그림 7에 각각 나타내었다. 여기서 자장 파형의 반전딥의 깊이는 주 방전에 의한 최초의 피크값을 기준으로 한 영점 교차후 반대극성의 두 번째 피크값과의 비에 대한 백분율로 정의하였다. 또한 영점 교차시간은 주 방전에 의해

서 발생하는 자장 파형의 상승 부분의 시작점에서 극성이 바뀌게 되는 시점까지 즉, 횡축과 교차되기까지 걸리는 시간으로 정의하였으며, 뇌방전이 지속되는 시간의 정도를 평가하는 파라미터이다. 1998년 하절기에 인천 부근에서 발생한 운방전에 의해 방사된 자장 파형을 분석의 대상으로 하였으며, 노이즈 성분이 심하거나 관독이 불분명한 데이터는 제외시켰다. 분석된 자장 파형의 백분율 반전딥의 깊이와 영점 교차시간의 평균값 및 표준편차를 종합하여 표 1에 나타내었다.

운방전에 의해서 발생한 자장 파형의 백분율 반전딥의 깊이는 대체적으로 정극성이 부극성에 비

표 1. 백분율 반전깊이와 영점 교차시간의 평균값과 표준편차

Table 1. Mean values and standard deviations for the percentage depth of the dip and zero-to-zero crossing time.

| 관측 거리 (km) | 데이터 수 | 백분율 깊이 [%] | | 영점교차시간 [μ s] | |
|------------|-------|------------|-------|-------------------|------|
| | | 평균값 | 표준편차 | 평균값 | 표준편차 |
| 0~5 | 26 | 64.62 | 17.91 | 23.34 | 9.35 |
| 5~10 | 25 | 61.06 | 17.87 | 20.11 | 6.48 |
| 10~15 | 17 | 62.74 | 19.26 | 17.09 | 8.05 |
| 15~20 | 8 | 57.91 | 10.02 | 10.98 | 5.35 |
| 합계 | 76 | 62.32 | 18.01 | 19.58 | 8.59 |

해 다소 크게 나타났으며, 이들의 평균은 정극성이 81.23%, 부극성이 75.92%이었다. 뇌방전의 발생 위치와 관측 지점까지의 거리가 짧은 경우가 비교적 데이터의 분산이 크며, 평균값이 57~65% 정도의 반전깊의 깊이는 낙뢰에 의해서 발생하는 자장 파형의 반전 깊의 깊이의 평균값 25~35% 정도인 것과 비교하면^[15], 운방전에 의해 발생하는 자장 파형의 양극성(bipolar) 특성이 두드러짐을 의미한다.

운방전에 의해서 발생한 자장 파형을 뇌방전의 발생 지점에서 관측 지점까지의 거리에 따른 영점 교차시간은 0~5 km 이내에서는 평균 23.34 μ s이었으나 거리가 멀어질수록 약간씩 감소하여 15~20 km의 범위에서는 10.98 μ s로 나타났다. 또한 뇌방전의 발생 위치와 측정 지점사이의 거리가 멀어질수록 데이터의 분산은 적으며, 표준편차도 작게 나타났다. 이는 운방전에 의해서 발생한 전자파가 관측 지점까지 진전되어 오는 동안의 전파 특성이 거리에 따른 의존성이 있음을 의미하며, 근거리에서는 전자파의 유도 성분과 방사 성분이 혼재하는 파형이 검출되지만 원거리일수록 방사 성분만 주로 나타나기 때문인 것으로 분석된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 운방전에 의해서 방사되는 자장 파형을 관측할 수 있는 자장의 계측시스템을 구성하고, 실측된 자장 파형의 각종 파라미터에 대한 통계적인 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 운방전에 의해서 발생하는 자장 파형은 양극성 형태를 가지며, 파두 부분에 미세한 펄스가 중첩되는 특성이 나타났다. 주 방전에 의해서 발생하는 자장 파형의 상승 부분에 나타나는 중첩 펄스의 시간 간격의 평균값은 약 4 μ s이었다. 백분율 반전깊의 깊이는 약 57~65%의 범위이었으며, 뇌방전의 발생 지점에서 관측 지점까지의 거리가 멀어질수록 자장 파형의 영점 교차시간은 점차적으로 감소하였다. 뇌유도전압에 대한 보호장치의 설계와 개발에 유용한 기초 자료로 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] William C. Hart, Edgar W. Malone, *Lightning and Lightning Protection*, Don White Consultants Inc., pp. 1~14, 1979.
- [2] C. Leteinturier, J. Hamelin and C. Weidman, "Correlation of Lightning Current and Electric Field Derivative", *Proc. 8th Int. symp. on EMC*, pp. 405~410, 1989.
- [3] 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.
- [4] C. D. Weidman, E. P. Krider, "The Fine Structure of Lightning Return Stroke Waveforms", *J. Geo. Res.*, vol. 83, no. C12, pp. 6239~6247, 1978.
- [5] 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.
- [6] W. Beasley, M. A. Uman, and P. L. Ru-

stan, "Electric Fields Proceeding Cloud-to-Ground Lightning Flashes", *J. Geophys. Res.*, vol. 87, no. C7, pp. 4883~4902, 1982.

[7] C. D. Wiedman and E. P. Krider, "The Radiation Field Waveforms Produced by Intracloud Lightning Discharge Processes", *J. Geophys. Res.*, vol. 84, no. C6, pp. 3159~3164, 1979.

[8] E. P. Krider and R. C. Noggle, "Broadband Antenna System for Lightning Magnetic Fields", *J. Appl. Meteorol.*, vol. 14, pp. 252~256, 1975.

[9] C. E. Baum, et al, "The Measurement of Lightning Environmental Parameters Related to Interaction with Electronic Systems", *IEEE Trans.*, vol. EMC-24, no. 2, pp. 123~136, 1982. 3.

[10] 이복희, 이경옥, "뇌방전에 의해 방사되는 전계와 자계 파형의 특성", 전자과학회 논문지,

vol. 7, no. 4, pp. 300~309, 1996.

[11] "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines", *ANSI/IEEE Std. 664-1987*, pp. 17~21, 1992.

[12] M. A. Uman, *Lightning*, Dover Publications Inc., New York, pp. 1~46, 181~199, 1982.

[13] N. Kitagawa and M. Brook, "A Comparison of Intracloud and Cloud-to-Ground Lightning Discharges", *J. Geophys. Res.*, vol. 65, pp. 1189~1201, 1960.

[14] Y. T. Lin, M. A. Uman, and R. B. Standler, "Lightning Return Stroke Models", *J. Geophys. Res.*, vol. 85, no. C3, pp. 1571~1583, 1980. 3.

[15] 이복희, 안창환, "낙뢰에 의한 전계와 자계 파형의 파라미터", 한국전자과학회 논문지, vol. 9, no. 3, pp. 359~368, 1998.

이 복 희



1954년 6월 29일 생
 1980년 2월: 인하대학교 공과대학 전기공학과(공학사)
 1987년 2월: 인하대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
 1988년 4월~1989년 9월: 일본 동경대학 생산기술연구소 객원연

구원

1990년 3월~현재: 인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 교수
 [주 관심분야] EMI/EMC, 전자계 측정 및 해석, 뇌방전 현상, 고전압 및 기체절연 재료, 과도접지임피던스 해석

안 창 환



1959년 11월 4일 생
 1983년 2월: 원광대학교 전기공학과(공학사)
 1991년 2월: 인하대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
 1999년 8월: 인하대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

현재: 한국전력공사 근무

[주 관심분야] EMI/EMC, 뇌방전 현상, 전력계통운동, 고전압 현상론, GIS 성능해석

장 석 훈



1974년 2월 20일 생
 1996년 2월: 인하대학교 전기공학과(공학사)
 1999년 2월: 인하대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

[주 관심분야] 고전압현상의 측정, 아나로그회로설계, 전자환경공학