

뇌방전에 의한 유도전압과 자장의 측정

이복희, 조성철, 이우철, 심응보*, 우정욱*
 인하대 차세대 고전압전력기술연구센터, 한전전력연구원*

Measurement of the Induced Voltages and Magnetic Fields
 Produced by Multiple Lightning Discharges

B.H. Lee, S.C. Cho, W.C. Lee, E.B. Shim*, J.W. Woo*
 HVPT, Inha University, KEPRI*

Abstract - This paper deals with the device for measuring the time-varying magnetic fields and induced voltages caused by lightning discharges. The system consists of two loop antennas for the measuring the magnetic flux density and induced voltages caused by the lightning current, an integrator, a data acquisition and a personal computer with a software package that was developed for the analysis of the measurements.

1. 서 론

전기에너지를 대량으로 전송하는 초고압 송전선로 및 배전선로의 내뢰성능을 향상시키기 위하여 그 동안 많은 연구가 추진되어 왔으며, 송배전 전력계통에서의 주요한 선로사고 원인으로 낙뢰가 지배적이라는 것은 이미 밝혀졌다. 송전선로와 배전선로를 포함한 모든 전력계통의 설계시 뇌사고율을 고려하는 것은 이미 일반화되어 있다. 그의 기초가 되는 것은 사고의 발생원인, 뇌방전의 각종 파라미터와 이들에 대응하는 전력계통설비에 대한 전기적 특성의 파악이다. 또한 EMI/EMC 측면에서 보면 뇌운 내부 또는 뇌운과 뇌운 사이에서 발생하는 운내 방전이나 운간 방전의 과정 동안에도 고주파 성분의 전자파가 발생하므로 이에 대한 원인의 분석과 대책에 관한 연구가 필요하다. 뇌운과 대기사이의 방전에 대한 진전 메카니즘은 예비절연파괴, 계단상 리더, 부차과정, 제 1 귀환뇌격, 다투리더, 후속 귀환뇌격 이렇게 6단계의 과정으로 이루어진다. 그림 1은 귀환뇌격의 진전 메카니즘을 시간대별로 나타내고 있다.

극성의 전하가 다시 유도되고, 다투리더의 끝 부분과 대기에서 가장 가까운 부분에서 리더가 만나게 되어 뇌운 쪽으로 방전이 개시된 후 대기에서 뇌운을 향하여 계속적인 후속귀환뇌격이 반복적으로 발생한다.[1],[2] 이렇게 귀환뇌격의 진전 메카니즘은 100[ms]정도의 시간 동안 이루어지기 때문에 100[ms]이상 동안의 데이터 기록이 필요하다. 뇌방전에 의하여 발생하는 전장과 자장 신호내에는 뇌방전의 극성, 뇌방전의 거리, 위치, 방위, 뇌격강도등 뇌방전 현상의 해석을 위한 뇌격전류의 크기와 뇌방전의 특성을 유추할 수 있는 각종 파라미터를 포함하고 있다.

이에 본 연구에서는 뇌격전류의 간접측정시스템의 구축을 위한 기초적 연구로 뇌임펄스에 의하여 발생하는 자장신호를 자동기록 할 수 있는 측정장치를 개발하여 계측시스템을 구성하고, 다중 뇌임펄스에 의하여 발생하는 유도전압과 자장파형을 관측하여, 전체적인 뇌방전 과정에서 발생하는 모든 신호를 모의 분석한 결과를 기술하였다.

2. 실 험

2.1 측정장치의 구성

루프형 자장센서는 미국 LLP사의 나뢰위치표정장치의 방향탐지기(direction finder : DF)를 센서로 사용하였다. 이 자장센서는 동-서, 남-북방향의 두 개의 센서가 직교하며, 각각의 센서는 6턴과 2턴으로 서로 다른 응답감도를 가지고 있어서 측정하고자 하는 뇌방전의 거리를 고려하여 적합한 턴 수의 센서를 선택할 수 있다. 뇌격전류원으로는 ECAT Surge Simulator Systems을 사용하였으며, 8/20[μs] 전류파형과 0.5[μs]/100[kHz]의 진동성 파형을 만들 수 있다. 실신호의 자장신호를 측정하기 위해서 연산증폭기 LM7171을 사용하였으며, 새로운 데이터취득방법에 사용된 A/D 컨버터(NI-6115)는 12 bit의 분해능과 10 [MS/s]의 속도로 디지털신호로 변환시켜 준다. 보드의 제어는 LabVIEW(National Instrument Co.)의 DAQ 7.0 소프트웨어를 통하여 이루어진다. 자장센서와 계측시스템의 사진을 그림 2에 나타내었다.

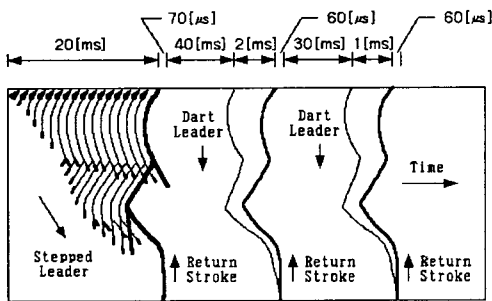
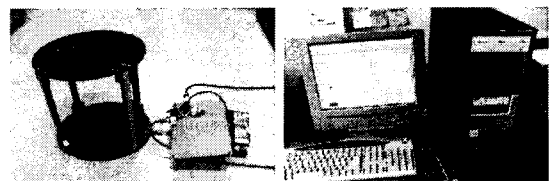
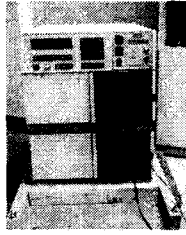


그림 1. 귀환뇌격의 진전 메카니즘
 Fig. 1. Propagation mechanism of lightning return strokes

다투리더에 의하여 뇌운쪽으로 향하는 방전을 유발시키는 높은 전장이 다시 형성되어 대지에 반대극성의 전하가 다시 유도되고, 다투리더의 끝 부분과 대기에서 반대



(a) 센서와 신호처리부 (b) 데이터취득부



(c) Surge simulator system

그림 2. 실험장치의 사진

Fig 2. Photo. of the experimental equipment

센서의 주파수대역은 300[Hz]~1[MHz]이며, 6턴과 2턴의 응답감도는 각각 2.2[mV/nT], 0.98[mV/nT]으로 측정하고자 하는 뇌방전의 거리를 고려하여 적합한 턴 수의 센서를 선택할 수 있을 뿐만 아니라, 실제 뇌방전에 의한 자장신호를 원활히 측정할 수 있다.[3]

또한, 귀환회로의 진전 메카니즘이 100[ms]정도의 시간 안에 이루어지기 때문에 충분한 샘플링 수가 요구된다. 이는 A/D 컨버터가 100[ms]이상의 시간 내에 들어오는 데이터를 처리할 수 있어서 전체 뇌방전이 진전하는 동안의 유도전압과 자장신호를 충분히 검출하고 분석할 수 있다.

2.2 실험계의 구성

그림 3에 다중 뇌임펄스 발생장치 및 측정계의 개략도를 나타내었다. 임펄스와 임펄스 사이에 약 40[ms]의 시간간격과 4회의 다중도를 가지고 있으며, 전압의 파두 시간과 파미시간이 약 1.2/50[μs]이며, 8/20[μs]의 임펄스전류를 발생시킬 수 있는 다중 뇌임펄스 발생장치를 이용하였다.[4]

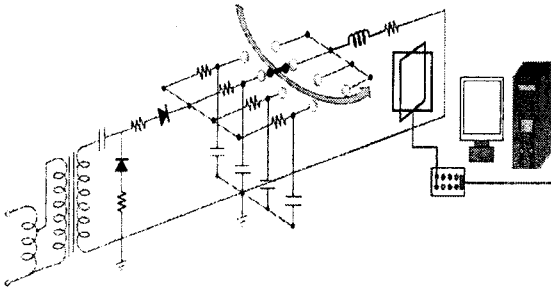


그림 3. 다중 뇌임펄스 발생장치 및 측정계의 개략도

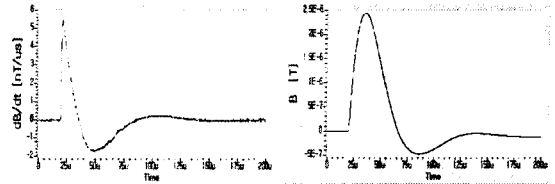
Fig 3. Schematic diagram of the multiple lightning impulse generator and measurement system

다중 뇌임펄스의 발생은 각각의 콘덴서에 충전되어 있는 전하를 추 스위치가 구궤들 사이를 지나감으로서 각각의 구궤를 점화하는 순차점화방식으로 얻어진다. 이 점화방식은 단순하지만 추의 중량과 높이의 조절을 통해서 임펄스 사이의 시간간격을 30[ms]에서 100[ms]로 임의로 설정할 수 있는 장점을 지니고 있다.

3. 결과 및 검토

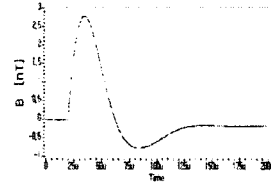
3.1 임펄스신호의 측정

다중 뇌임펄스에 의한 데이터 측정에 앞서, 한 개의 임펄스와 진동성 파형에 대한 센서의 응답을 측정하였다. 다중 뇌임펄스 발생장치에서 한 개의 콘덴서만을 이용하여 단펄스를 만들었으며, 그림 4는 8/20[μs] 표준 뇌임펄스 전류에 대한 유도전압과 자장파형의 신호이다.



(a) 미분신호

(b) 적분신호



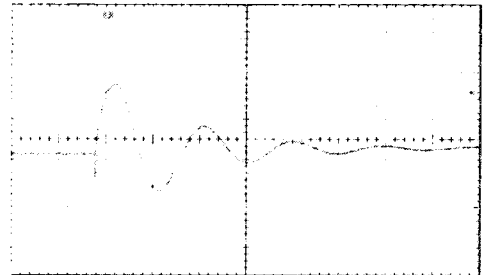
(c) 자장파형

그림 4. 단펄스 신호의 측정결과

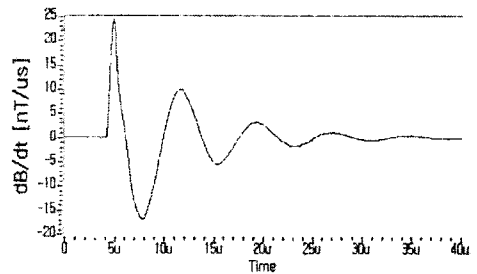
Fig 4. Measured results of impulse signal

그림 4의 (a)는 미분신호를, (b)는 미분신호 (a)를 프로그램에 이용하여 수치 적분을 통한 적분신호이며, 능동성적분기를 통하여 측정된 자장신호 (c)와 같은 모양을 하고 있다. 이는 LabVIEW 내에서의 신호 파라미터의 분석을 통해서 신빙성을 높여주고 있다.

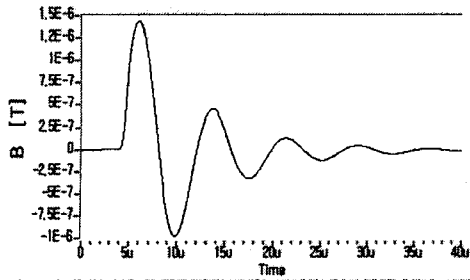
그림 5는 진동성 파형에 대한 전류, 유도전압 및 자장파형의 신호이다. 그림 5 (a)는 로고스키코일을 이용하여 측정된 인가전류 파형이다. 그림 (b)는 (a)의 신호에 대한 미분신호이며, (c)는 미분신호를 수치적으로 적분한 적분파형이다. (d)는 능동성적분기를 통한 실제 자장신호를 나타낸 파형이다. (a)와 비교했을 때 두 신호는 큰 오차 없이 실신호를 측정하는 것으로 판단된다.



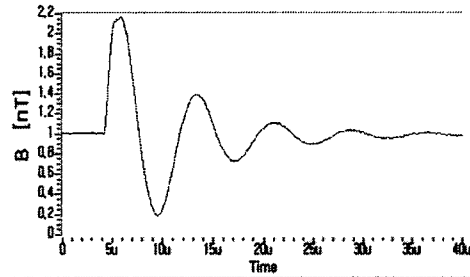
(a) 인가전류



(b) 미분신호



(c) 적분신호



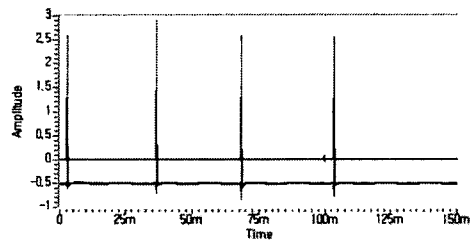
(d) 자장파형

그림 5. 진동성 파형에 의한 데이터
Fig 5. Data of the ring wave

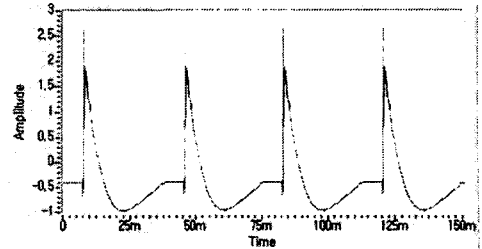
단펄스와 진동성 파형의 전류에 의해 측정된 유도전압과 자장파형을 보듯이 센서 주파수대역내의 모든 신호를 측정할 수 있으며, 뇌격의 진전 메카니즘에서 빠른 상승 시간을 갖는 과정에서 뇌격전류 파형도 측정할 수 있는 것으로 판단된다.

3.2 다중 뇌임펄스에 의한 유도전압과 자장신호의 특성

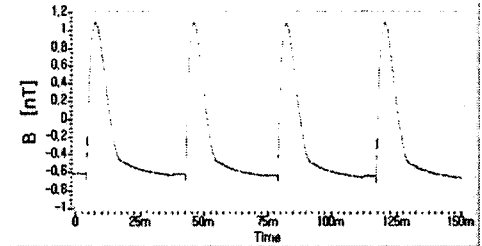
그림 6은 다중 뇌임펄스에 의한 유도전압과 자장신호의 파형을 나타내고 있다. 그림 6 (a)에서 위에 있는 것이 미분파형이며, 아래에 있는 것이 자장 파형이다. 4번의 임펄스 시간간격이 일정하지 않아서 생긴 간격으로 판단되며, 크기가 다른 것은 각각의 콘텐츠에 충전된 전하량의 차에 의해 발생한 것으로 사료된다. 프리트리거 시간을 충분히 주어서 4번의 임펄스를 모두 측정할 수 있게 하였다. 그림 6 (b)는 (a)의 펄스 부분을 확대시킨 파형이다. 매 순간의 뇌임펄스에 의한 유도전압을 정확히 측정하고 있는 것을 볼 수 있다.



(a) 미분신호와 자장파형



(b) 미분신호의 확대



(c) 자장파형의 확대

그림 6. 다중임펄스에 의한 데이터
Fig 6. Data of the multiple impulse

그림 6 (c)는 매 순간의 자장파형을 나타내고 있다. 자장신호의 초기 앞부분은 잘 검출하고 있지만 뒷부분의 신호를 정확히 처리하지 못하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 실험실의 상용주파수에 의한 노이즈에 기인된 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 뇌방전에 의해 발생하는 자장과 이의 미분파형의 계측시스템을 구성하고, 4회의 다중도를 가지는 다중 뇌임펄스 발생장치로 뇌방전을 모의하여 그 때의 유도전압과 자장파형을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 귀환뇌격 전체에 해당되는 시간동안 유도전압과 자장파형을 측정하였으며, 측정된 신호에서 원하는 시간영역에서의 데이터를 추출할 수 있었다.
- (2) 자장측정계로 뇌방전에 의한 광대역이며 미약한 유도전압과 자장의 측정이 가능함을 확인했다.
- (3) 원거리에서 발생하는 뇌격에 의한 방사성분의 자장을 측정하여 뇌격전류의 추정을 위한 계측장치로 활용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] N. Kitawa and M. Kobayashi, "Field Changes and Variations of Luminosity Due to Lightning Flashes", in Rec. Adv. Atmos. Electricity. London : Pergamon. pp.485~501, 1959.
 [2] M. A. Uman, "The Lightning Discharge", New York : Academic Press, pp11~36, 1987.
 [3] 이복희, 조성철, 엄주홍, 이우철, "뇌방전에 의한 유도전압의 측정에 대한 기초적 연구", 한국조명·전기설비학회 춘계 학술대회 논문집, pp.559~564, 2004.
 [4] 이복희, 강성만, 박진영, 최희성, "산화아연 피뢰기 소자의 다중 뇌 임펄스 특성", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.22~24, 2003.