

인하도선 주변에서 발생하는 자장의 억제

이복희, 강성만\*, 이승철, 임주홍, 이경옥  
 인하대학교 전기공학과

The Control of the Magnetic Field around Down Conductors

Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang\*, Seung-Chil Lee, Ju-Hong Eom, and Kyoung-Ok Lee  
 Dept. of Electrical Engineering, Inha University

**Abstract** - This paper deals with the control of magnetic field around the down conductor of lightning protection systems. The magnetic field strength in the vicinity of down conductor is shown to drop off rapidly with distance from the down conductor and is reversely proportional to the number of down conductor. Also the magnetic field strength is decreased in the structures as the down conductor is installed with the symmetrical arrangement, and it is zero at the center of symmetry. The magnetic field strengths for the symmetrical arrangement of two down conductors are less than one half compared with that for a down conductor. A proper arrangement of down conductor can reduce or cancel the magnetic field in a restricted place where information-oriented and computerized facilities are densely installed.

1. 서론

최신의 지능형 건물의 자동화관리시스템의 발달과 정보화 사회시스템의 진전으로 건축물의 뇌보호설비는 낙뢰로 인한 건축구조물의 손상이나 인명의 피해에 못지않게 컴퓨터, 정보통신기기, 제어 및 감시설비 등의 파손이나 오동작의 방지 등도 중요한 보호대상이 되었다. 인하도선의 시공에 있어서도 인체의 감전에 대한 안전은 물론이고 정보·통신·감시시스템의 확실한 보호를 고려하여야 한다. 낙뢰에 의한 뇌격전류는 매우 큰 시간변화율의 특유한 성질을 가지고 있어 도체부근에 전자장이 발생하며, 이 전자장은 주위의 금속체와 상호유도작용으로 고전압을 유도시키게 된다.<sup>[1,2]</sup>

따라서 본 연구에서는 인하도선 주위에서의 시변자장의 특성을 평가하기 위해 인하도선의 재료, 시설개수, 접지방벵 및 임펄스전류의 파형을 달리하여 인하도선에 임펄스전류가 흐를 때 각 조건에서 인하도선 주위에서 시변자장을 측정하고, 비교/분석하며 자장의 억제방법을

제안하였다.

2. 실험

2.1 실험회로

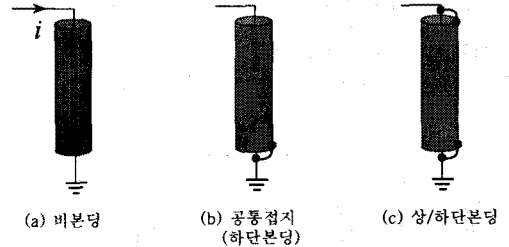


그림 2 금속제 전선관과 인하도선의 본딩조건

Fig. 2 Bonding conditions of the downconductor metal raceway

인하도선에 뇌격전류가 흐를 때 인하도선의 주위에 발생하는 자장의 세기를 분석하기 위해서 그림 1과 같은 측정회로를 구성하였다. 뇌보호설비(lightning protection system: LPS)의 모의 실험을 위해 6×6×6 [m] 크기의 정육면체 모의 구조물을 시설하였고, 인하도선에 인가된 임펄스전류가 측정전류의 페루프와의 상호유도작용에 기인되는 오차를 줄이기 위하여 IEEE의 권장사항에 따라 전위보조전극은 전류보조전극의 방향과 90°의 각도를 이루어 35 [m] 떨어진 위치에 시설하였다.<sup>[3]</sup> 금속제 전선관과 인하도선의 본딩조건에 따른 자장의 특성을 분석하기 위해 그림 2와 같이 내경이 42 [mm]인 금속관에 GV 전선을 인입하고, 특성임피던스가 3, 10 [Ω]인 케이블의 경우는 심선과 금속쉴스선의 본딩조건에 대해서 단펄스성 뇌임펄스전류와 진동성 임펄스전류가 흐르는 경우 그 주위에서 발생하는 자장의 세기를 측정하였다.

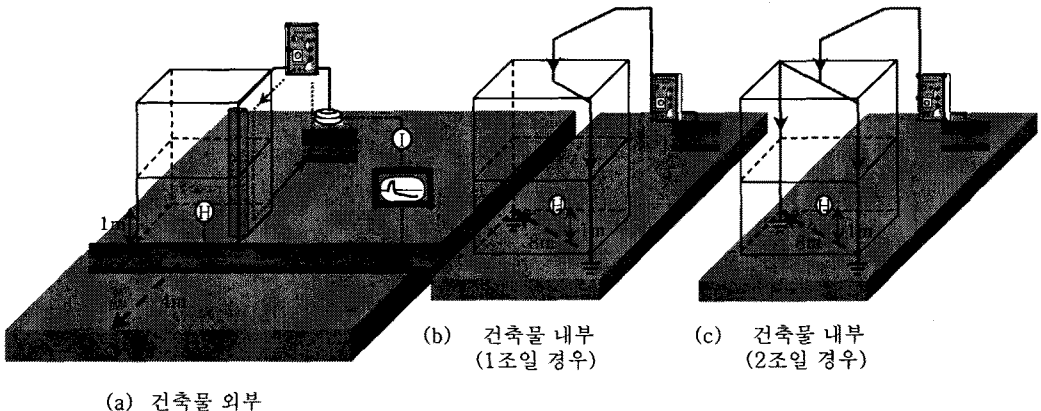


그림 1 임펄스전류에 의한 자장의 측정회로

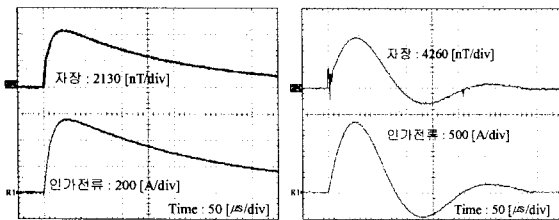
Fig. 1 Circuit diagrams for measuring the magnetic fields due to lightning currents

## 2.2 실험방법 및 측정기기

인하도선에는 피크치 500~800 [A] 정도의 크기의 일정한 단펄스성 뇌임펄스전류와 진동성 임펄스전류를 인가하였고, 자장의 검출용 루프센서의 높이 즉, 측정위치는 인하도선이 설치되어 있는 모의 구조체의 모서리에서 대각선 방향으로 지상에서 1 [m]를 유지하면서 인하도선으로부터 측정거리를 4 [m]까지 0.5 [m]간격으로 자장의 세기를 측정하였다. 이 때 측정방향은 임펄스전류의 폐루프회로에 의한 영향을 최소화하기 위해서 임펄스전류 공급원의 반대 방향에서 측정하였다. 건축물 내부에서 인하도선의 수와 배치에 따른 자장의 세기를 측정하고 분석하였다. 본 연구에서 제작한 자장측정기의 응답감도는 46.9 [mV/ $\mu$ T]이고, 주파수대역은 110 [Hz] ~ 200 [kHz] 정도이다.

## 3. 결과 및 검토

### 3.1 인가전류와 자장파형



(a) 단펄스성 임펄스전류 (b) 진동성 임펄스전류

그림 3 인하도선으로부터 1 [m] 떨어진 지점에서 측정한 인가전류와 자장 파형

Fig. 3 Waveforms of the incident currents and magnetic fields measured at the distance of 1 [m] from the downconductor

그림 3에 단펄스성 임펄스전류와 진동성 임펄스전류가 인하도선에 흐를 때 인가전류와 인하도선에서 1 [m] 떨어진 위치에서 측정된 자장의 파형 예를 나타내었다. 그림 3에서 R1은 인가전류의 파형, R2는 자장검출용 루프센서로 측정된 자장 파형으로 인가전류의 파형과 거의 일치하는 형상으로 관측되었다.

### 3.2 금속관의 접지방식에 따른 인하도선 주위에서의 자장 세기

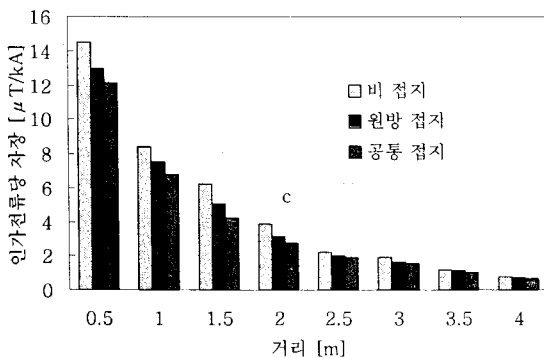


그림 4 인하도선과 측정점사이의 거리에 따른 자장 세기

Fig. 4 Magnetic field strength as a function of the distance from the downconductor to the measuring point

인하도선과 금속관사이의 분당조건을 파라미터로 하여 인하도선과 측정점사이의 거리 변동에 따른 자장의 세기를 그림 4에 나타내었다. 거리에 따라 자장의 세기는 변동하였지만 파형은 거의 유사하였다. 인하도선의 주위에 발생한 자장 세기는 대략적으로 전류원으로부터 측정점까지의 거리에 반비례하는 결과를 얻었다. 발생원으로부터의 거리가 증가할수록 자장의 세기가 감소하고, 금속관을 접지하지 않았을 경우가 주위의 자장이 가장 크게 나타났고 공통접지보다는 원방접지에 대한 자장이 크게 나타남을 볼 수 있다.

### 3.3 인하도선의 재료에 따른 주위에서의 자장 세기

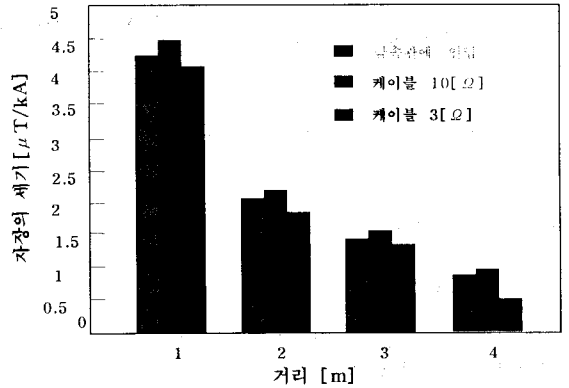


그림 5 인하도선의 종류에 따른 자장의 세기의 비교

Fig. 5 Comparison of the magnetic field strengths according to types of down-conductor

인하도선을 수납하는 금속관의 접지방식에 따라 주위에 발생하는 자장의 세기가 다르게 나타나므로 특히 케이블을 인하도선으로 사용하는 경우 자기차폐의 효과를 검토하기 위해서 인하도선의 재료에 따른 인하도선 주위에서의 자장의 세기를 측정하여 그림 5에 나타내었다. 특성임피던스가 10 [Ω]인 케이블의 경우 자장의 세기가 가장 크게 나타났으며, 다음이 GV전선을 금속관에 수납한 경우 그리고 특성임피던스가 3 [Ω]인 케이블의 경우가 가장 작은 값을 나타내었다. 금속관과 케이블의 금속쉬스가 자기차폐의 역할을 하며, 특성임피던스가 3 [Ω]인 케이블의 금속쉬스는 연동이었으므로 자기차폐효과가 크게 나타난 것으로 여겨진다.

### 3.4 뇌격전류 파형에 따른 인하도선 주위에서의 자장 세기

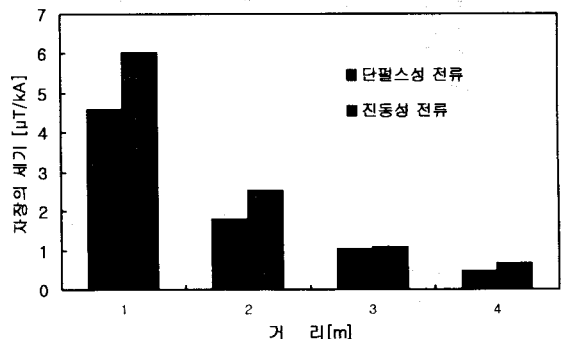


그림 6 인하도선 주위에서의 자장 세기의 인가전류 파형에 대한 의존성

Fig. 6 Dependence of the magnetic field strength near the downconductor on the waveform of the incident currents

인하도선 주위에 발생하는 자장의 세기의 인하도선에

호르는 뇌격전류의 파형에 대한 의존성을 분석하기 위해서 상승시간이 약 30 [μs]인 단펄스성 임펄스전류와 상승시간이 약 40 [μs]인 진동성 임펄스전류 두 가지의 인가전류에 따른 인하도록선 주위에서 발생한 자장의 세기의 피크값을 그림 6에 나타내었으며, 상승시간이 빠른 단펄스성 임펄스전류에 의해 발생하는 자장의 세기보다 진동성 임펄스전류에 의한 자장의 세기가 크게 나타났다.

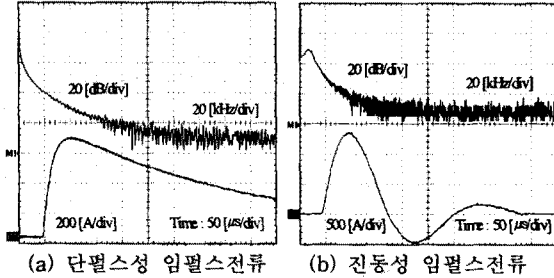


그림 7 시험전류파형의 고속푸리에변환결과  
Fig. 7 Fast Fourier transformation of the test current waveforms

시험전류인 단펄스성과 진동성 임펄스전류에 대한 고속푸리에변환(FFT)결과를 그림 7에 나타내었다. 단펄스성 임펄스전류는 직류 성분을 포함하여 저주파수 성분도 비교적 많이 포함되어 있는 반면에 진동성 임펄스전류에는 10 [kHz] 전후의 주파수 성분이 많이 포함되어 있다. 진동성 임펄스전류의 경우는 전류의 변화율이 뇌임펄스전류의 초기 상승부분에 비하여 약간 작지만 뇌임펄스전류의 파미장까지의 시간동안 동일한 변화가 지속된다.

### 3.5 인하도록선 배치에 따른 건축물 내부에서의 자장 세기

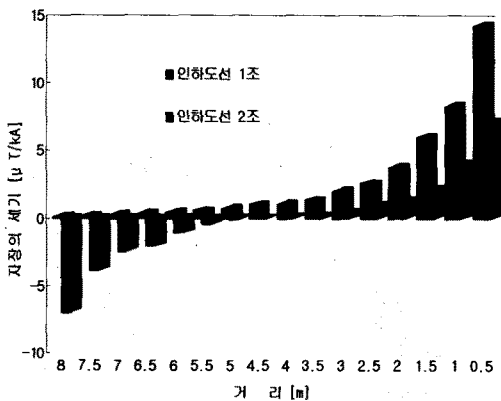


그림 8 인하도록선의 수와 배치에 따른 건축물 내부에서의 자장의 세기의 분포  
Fig. 8 Magnetic field profiles for the number and arrangement of down-conductor in the model structure

인하도록선이 설치되어 있는 모의 건축물의 한쪽 모서리에서 대각선 방향으로 지상에서 1 [m]의 높이에서 0.5 [m] 간격으로 측정하였다. 모의 건축물에 설치되어 있는 인하도록선의 수와 배치에 따라서 건축물 내부에서 대각선 방향으로 측정한 자장의 세기의 분포를 그림 8에 나타내

었다. 모의 건축물 내부에서의 자장의 세기는 인하도록선이 1조의 경우에 비해서 2조로 설치했을 때의 경우가 인하도록선으로부터 0.5 [m]거리에서는 50 [%]정도이지만 구조물의 중앙인 4 [m]에서는 거의 나타나지 않았다. 이는 인하도록선이 대각선 방향으로 2조가 설치된 경우 뇌격전류가 균등하게 분류되어 호르므로 인하도록선이 1조인 경우에 비해서 자장의 세기가 1/2이하이었으며, 중앙에서의 자장의 세기는 서로 상쇄되기 때문에 거의 나타나지 않은 것으로 볼 수 있다.

## 4. 결 론

뇌격전류가 흐를 때 인하도록선의 주위에서 발생하는 자장의 특성을 분석하기 위해 철구조물을 제작하고 인하도록선을 시설하여 뇌 임펄스전류에 대한 자장의 세기를 측정된 결과를 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 인하도록선의 주위에 발생한 자장의 세기는 대략적으로 전류원으로부터 측정점까지의 거리에 반비례하는 결과를 얻었다. 발생원으로부터의 거리가 증가할수록 자장의 세기가 감소하고, 금속관을 접하지 않았을 경우가 주위의 자장이 가장 크게 나타났고 공통접지보다는 원방접지에 대한 자장이 크게 나타남을 볼 수 있었다.
- ② GV전선을 금속관에 수납한 경우 그리고 특성임피던스가 낮고 연동위수로 된 케이블의 경우가 자장의 세기는 낮게 나타내었다.
- ③ 단펄스성 임펄스전류에 비하여 진동성 임펄스전류에 의한 자장의 세기가 크게 나타났다.
- ④ 동일한 뇌격전류에 대해서 인하도록선 2조를 시설한 경우 대칭의 중심에서는 자장의 세기가 0[μT]이었고, 그 외의 장소에서도 인하도록선 1조의 경우에 비하여 자장의 세기는 1/2이하이었다. 즉, 인하도록선을 기하학적인 대칭 또는 적절히 배치함으로써 뇌격전류에 의해서 형성되는 건축물 내부의 임의의 위치에서의 자장의 세기를 제어할 수 있음을 확인하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 電氣設備學會 建築物等の避雷設備委員會, 建築物等の避雷設備ガイドブック, 電氣設備學會, pp.66~77, 1992.
- [2] 이복희, 이경옥, 허봉철, "뇌방전에 의하여 발생하는 자계 파형의 특성", 전기학회 논문지, Vol.45, No.9, pp.1318~1324, 1996.
- [3] IEEE Standards Board, "IEEE Std 81-2-1991: IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., pp. 62~64, 1991.