

뇌보호설비용 인하도선의 설치조건에 따른 전위상승

이복희, 강성만*, 이승철, 이동문, 안창환
인하대학교 전기공학과

Potential Rises of Down-conductor for Lightning Protection System according to Establishment Conditions

Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang*, Seung-Chil Lee, Dong-Mun Lee, Chang-Hwan Ahn
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

Abstract - This paper deals with the characteristics of the potential rises of down-conductor due to lightning surge currents. Direct lightning strikes can cause high impulse currents to the lightning protection system(LPS) of a building. These high impulse currents have the front time as short as 1[μs]. In this case, the induced voltages caused in a closed circuit inside the building can be very high and cause damage or submit people to electric hazard. So, the LPS has to be designed to ensure safety condition to person and acceptable levels of induced voltages to the electrical and electronic equipments. The results of the potential rises related to the bonding conditions between the grounding conductor and metal raceway and the type of down-conductors are introduced.

1. 서 론

뇌보호설비를 설치하는 목적은 보호하고자 하는 건축물에 접근하는 뇌격을 막고 뇌격전류를 대지로 방류하는 동시에 뇌격에 기인하여 생기는 건축물의 화재, 파손 및 인명 피해를 방지하는데 있다. 뇌보호설비는 건축물과 그의 내용물의 종류, 중요도 등에 따라 뇌보호설비의 보호능력과 경제성을 고려하여 최적의 뇌보호설비를 설계하고 시공하여야 한다.

뇌보호설비의 구성은 크게 뇌운으로부터 하향리더를 흡인하는 수뢰장치(Lightning rod)과 수뢰부와 접지극을 접속하는 도선으로 피보호물의 정상부로부터 집지극까지의 전류통로인 인하도선(Down-conductor), 뇌격전류를 안전하게 대지로 방류를 목적으로 인하도선과 대지를 전기적으로 접속하기 위한 접지극(Grounding terminal)으로 구분할 수 있다. 특히 인하도선을 시설할 때 뇌격시 인하도선을 통하여 흐르는 빠른 상승시간을 가지는 뇌격전류로부터 인체의 접촉으로 인한 감전사고의 방지와 인하도선으로부터 발생하는 전자파로 인한 건축물 내부의 전자기기의 피해를 고려한 최적의 뇌보호설비가 요구되어지고 있다.

도체에 뇌격전류와 같은 고주파의 전류가 흐를 경우 그 전류에 의한 자장의 시간적 변화 때문에 도체 내측으로 갈수록 큰 역기전력이 발생하므로 도체내의 전류밀도 분포는 도체의 중심부로 갈수록 작고 외측으로 갈수록 커지게 된다. 이를 표피효과(skin effect)라 한다¹⁾. 따라서 인하도선의 종류 및 도선과 금속제 전선관 또는 케이블의 금속차폐층의 분당조건 그리고 금속제 전선관 또는 케이블의 금속차폐층의 접지조건에 따른 인하도선의 전위상승을 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험측정계의 구성

뇌보호설비(lightning protection system:LPS)의 모의 실험을 위해 6×6×6[m] 크기의 정육면체 모의 구조물을 시설하였다. 구조물의 총 높이는 6(m)이고, 3(m) 높이에 중간층을 두어 2층 건물을 모의하였다. 구조물에 사용된 재료는 일반적으로 건축공사 현장에서 사용하는 직경이 50[mm], 길이가 6(m)인 금속제 파이프를 사용하여 시설하였다.

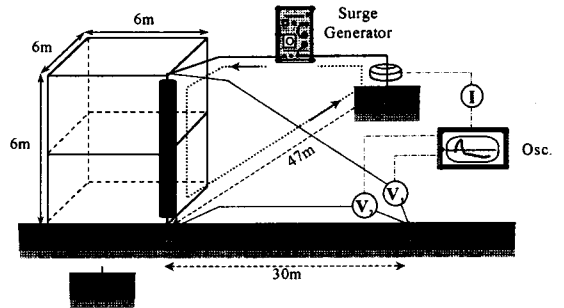


그림 1 실험회로의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental circuit

뇌 서지전류에 대한 인하도선의 전위상승을 측정하기 위한 실험회로를 그림 1과같이 구성하였다. 전류보조전극은 피측정 격자형 접지전극으로부터 47[m] 이격하여 시설하였으며, 전위보조전극은 전류보조전극의 방향과 90°의 각도를 이루어 35[m] 이격하여 시설하였다. 전류보조전극은 길이 1.8[m]의 봉형 접지전극 5개를 병렬로 연결하여 구성하였으며, 접지저항값은 7.7[Ω]이었다. 전위보조전극은 길이 1[m]의 봉형 접지전극을 사용하였으며, 큰 임펄스전류가 인가될 때 측정전류 페루프와의 상호 유도되는 오차를 줄이기 위하여 IEEE의 권장사항에 의거하여 90°의 각도를 이루도록 시설하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서 사용한 인하도선의 재료의 종류는 직경이 22[mm]인 GV전선, 특성임피던스가 10[Ω]이고 22.9[kV] 배전선용 CNCV 케이블, 특성임피던스가 3[Ω]인 인하도선 전용케이블, 그리고 특성임피던스가 50[Ω], 75[Ω]인 동축케이블이다. 특성임피던스가 50[Ω], 75[Ω]인 동축케이블의 경우 인하도선의 재료로는 적합하지 않으나 뇌서지전류가 고주파임을 고려할 때 인하도선의 특성임피던스가 전위상승에 미치는 영향을 비교·검토하기 위한 목적으로 실험을 수행하였다. 그림 2는 본 연구에서 적용한 인하도선과 금속제 전선관 또는 케이블 차폐층의 분당조건을 나타내고 있다. 금속제 전선관은 22[mm]인 GV전선의 경우 내경이 42[mm]인

금속관을 사용하였고, 케이블의 경우는 금속위스선을 이용하여 본딩조건 및 차폐요소(shielding part)의 접지조건에 따른 인하도선의 전위상승에 대한 실험을 수행하였다. 뇌서지 전류의 발생은 본 연구실에서 보유하고 있는 조합형 임펄스 발생기를 사용하였으며, 최대 인가전류의 크기는 20(kA)이다.

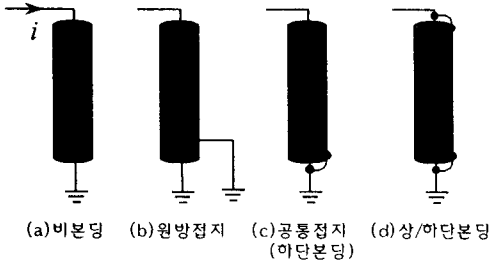


그림 2 금속제 전선관과 인하도선의 본딩조건
Fig. 2 Bonding conditions of the down-conductor and metal raceway

3. 결과 및 검토

3.1 측정파형

인하도선 자체에 유도되는 전위상승은 뇌격전류의 흐름에 의한 인하도선에서의 전압강하에 상당하며, 인하도선 상단의 전위(V_1)에서 접지전극의 전위(V_2)의 차로부터 산출할 수 있다.

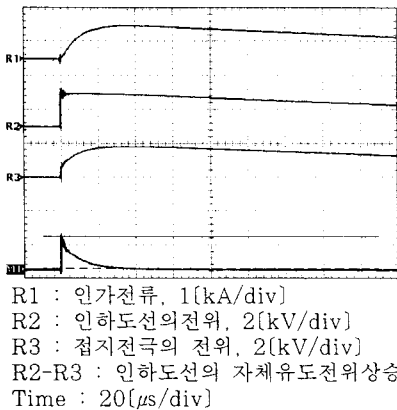
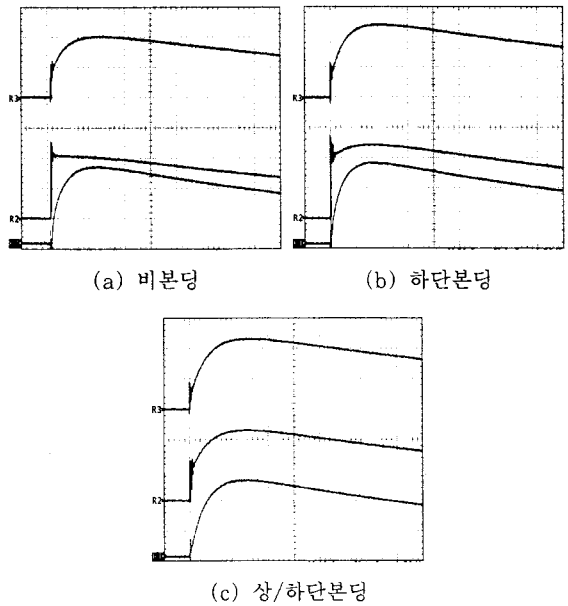


그림 3 인가전류 및 전위상승의 파형
Fig. 3 Waveforms of the incident current and potential rises

그림 3에 인가전류 및 각 전위파형을 나타내었으며, 인하도선의 자체유도전위를 연산하는데 사용한 장비는 500 [MHz], 2.5 [GS/s], 4개 채널의 디지털 축적형 오실로스코프를 사용하였고, 최대값으로 나타내었다. 측정결과로부터 인하도선에서의 전위강하는 주로 인덕턴스에 의하여 형성됨을 알 수 있다.

3.2 본딩방식에 따른 전위상승

그림 4는 본딩방식에 따른 인하도선에서의 전위상승 파형을 나타내었다. 인하도선의 전위상승은 비본딩의 경우가 가장 크게 나타났고, 상/하단 본딩했을 경우가 가장 작게 나타났다. 이는 상/하단 본딩을 할 경우 GV전선의 자체 인덕턴스와 금속관의 인덕턴스가 병렬로 접속된 효과로 인해 전체 인덕턴스 성분이 작아지고 표피효과에 의해 전위상승이 적게 나타난 것으로 사료된다.



상 : 접지전극의 전위, 1[kV/div]
중 : 인하도선의 전위, 1[kV/div]
하 : 인가전류, 0.5[kA/div]
Time : 20 [μ s/div]

그림 4 본딩방식에 따른 전위상승의 파형
Fig. 4 Waveforms of the potential rises according to bonding methods

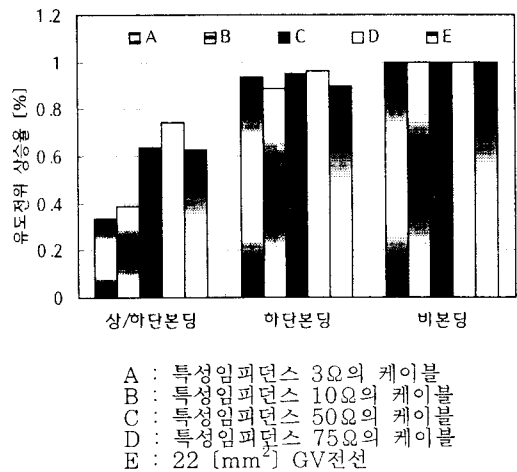


그림 5 인하도선의 종별에서 비본딩의 전위상승에 대한 각종 본딩의 전위상승비
Fig. 5 Ratios of the potential rises for various bonding systems to the potential rise for nonbonding system in some types of down-conductor

비본딩의 경우에 나타나는 전위상승을 기준으로 했을 때 하단본딩과 상/하단본딩시의 전위상승율을 그림 5에 나타내었다. 실험에 사용된 인하도선 모두 공통적으로 비본딩보다 낮게 나타났고, 특히 특성임피던스가 3(Ω)인 인하도선 전용 케이블이 33(%)로서 가장 양호한 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

3.3 인하도선의 종류에 따른 전위상승

그림 6은 특성임피던스가 서로 다른 케이블과 GV전선을 인하도선으로 사용하였을 때 도선의 종류에 따른 전위상승을 비교하는 그래프이다. 측정은 각각 3회씩 이루어졌으며, 인가전류 kA당 전위상승으로 규격화하였다.

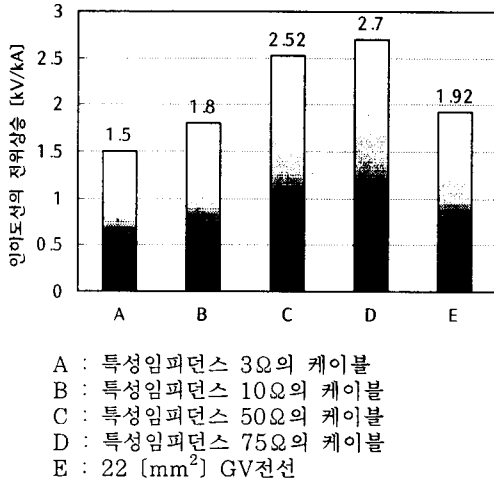


그림 6 인하도선의 종류에 따른 유도전위상승
 Fig. 6 Potential rises with a kind of down-conductor

전용 인하도선으로서 특성임피던스 3(Ω)인 케이블이 1.5(kV)로서 가장 작게 나타났고, 전력용 케이블로 사용되는 특성임피던스가 10(Ω)인 CNCV 케이블, 22 [mm²] GV전선, 신호전송용으로 사용되는 50(Ω), 75 [Ω] 동축케이블 순으로 인하도선 전위상승이 증가하는 것으로 나타났다. 특성임피던스가 작은 도체일수록 전위상승이 작게 나타난 것을 통해 상승시간이 빠른 뇌서지전류에 대해서 인하도선은 단순한 저항체가 아닌 서지임피던스로 작용한다는 것을 알 수 있다.

3.4 금속관의 접지방식에 따른 전위상승

그림 7에 나타난 바와 같이 인하도선의 인입용 금속관 또는 케이블의 금속차폐층의 접지를 인하도선의 접지와 공통으로 하는 것과 별개로 단독(원방)접지를 했을 경우의 전위상승을 비교하는 실험을 하였다.

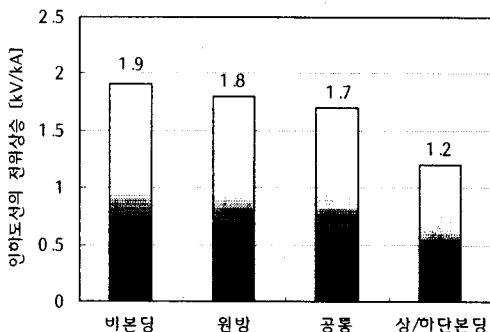


그림 7 금속관의 접지방식에 따른 전위상승
 Fig. 7 Potential rises with a grounding method of metal raceway

그림 7은 GV전선과 금속관에 대한 결과이고, 인하도선의 전위상승은 비본딩의 경우가 1.9(kV)로 가장 크게 나타났으며, 단독접지(원방접지), 하단본딩(공통접지), 상/하단본딩 순으로 작게 나타났다. 공통접지보다 원방접지시 전위상승이 크게 나타났는데, 이는 금속관이 원방에서 접지된 경우는 접지저항을 통하여 본딩된 것으로 볼 수 있으며, 접지저항(2.7+7.7=10.4Ω)이 크므로 본딩의 효과가 미약하여 본딩하지 않는 경우와 비슷하게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결 론

인하도선의 유도전위상승의 특성을 평가하기 위해 뇌임펄스 전류발생장치 및 철구조물과 설계/제작하고 인하도선을 시설하여 뇌 서지전류에 대한 특성을 측정된 결과를 분석한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 인하도선의 전위상승은 비본딩의 경우가 가장 크게 나타났고, 상/하단 본딩했을 경우가 가장 작게 나타났다. 이는 상/하단 본딩을 할 경우 GV전선의 차체 인덕턴스와 금속관의 인덕턴스가 병렬접속효과로 인해 전체 인덕턴스 성분이 작아지고 표피효과에 의해 대부분의 뇌서지전류가 금속제 전선관 또는 케이블의 차폐층을 통해 흐르게 되므로 전위상승이 적게 나타난 것으로 사료된다.

(2) 인하도선의 특성임피던스가 작을수록 전위상승이 작게 나타났다.

(3) 인하도선 인입용 금속관 또는 케이블의 차폐층을 원방(독립)접지하는 것이 효과적이며, 원방접지저항이 클 경우 본딩의 효과는 미약하게 나타났다.

(참 고 문 헌)

- [1] 백용현, 이복희, "전력전송공학", 보성문화사, pp. 42~43, 1996
- [2] A. Oriandi, F. Schietroma, "Attenuation by a Lightning Protection System of Induced Voltages Due to Direct Strikes to Building", IEEE Trans. on Electromagnetic compatibility, Vol.38, No.1, pp.43~50, 1996.
- [3] A. Orlandi, C. Mazzetti, M. Yarmarkin, Z. Flisowski, B. Kuca, "Shielding Properties of Lightning Protection Systems under LEMP", Proceedings of the 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, Quebec, Canada August 25~29, 1997, pp.1351~1361.
- [4] C. F. Hedlund, "Lightning Protection for Buildings", IEEE Trans. on Industry and General Applications, Vol.IGA-3, No.1, pp.26~30, 1967.
- [5] William C. Hart, Edgar W. Malone, "Lightning and Lightning Protection", Don White Consultants, Inc., pp. 1~14, 1979.