

건축물 구조체의 낙뢰 전위 분포 특성에 관한 연구

조대훈*, 이기식, 이광구, 유청희,
 단국대학교 전기공학과*, 한국XIT(주)

A Research about Transient Response at a Lightning Strike of Steel-Beam Building

D.H. Cho*, K.S. Lee,
 DanKook University,

K.G. Lee, C.H. Ryu
 XIT Korea. Co. Ltd

Abstract -

직격뢰가 높은 건축물에 치거나 인접 건물로부터 뇌전류가 유입되었을 때 잘못된 피뢰설비로 인한 피해는 매우 심각한 실정이다. 낙뢰가 치는 순간에 반도체와 같은 민감한 전자부품을 사용하는 전자 및 통신기기는 뇌전류로 인한 전자기장의 영향으로 오동작이 발생하거나 부품의 손상을 입기가 쉽다^{[3],[18]}. 본 논문에서는 건축물 구조체에 직격뢰가 유입되었을 때 건축물 구조체 및 건물 주위에 나타나는 전위 분포특성을 연구하였다. 본 논문에서 30m 높이 건축물의 상부 모서리와 중앙부 그리고 건축물 하부 모서리와 중앙부로 뇌전류가 유입된다고 가정하여 건축물의 전계 분포특성을 시뮬레이션하였으며, 뇌전류는 2중 지수함수 형태로 모의된 20kA 임펄스 서지 전류를 주입하였다^{[2],[4]}. 뇌서지 전류의 주파수 특성은 Fast Fourier Transform (FFT)을 이용하여 얻었으며, 얻어진 주파수 값을 이용하여 건축물 구조체와 인접지역의 Scalar Potentials와 Electric Fields의 특성을 시뮬레이션하였다^{[2],[5]}. 또한 철팔빔 건축물의 철팔빔에 직접 뇌전류가 유입되는 경우와 건물 하부의 접지전극에 뇌전류가 유입되는 경우로 분리하여 연구하였다. 그 결과 뇌전류의 유입경로가 건축물의 모서리부분 보다는 중심부에 위치될 때 전위 및 전계 크기가 작았으며, 건축 철팔구조물보다 건축물 하부에 접지전극이 설치될 때 더 낮은 전계 값을 갖는 것을 확인하였다^{[3],[16]}.

1. 서 론

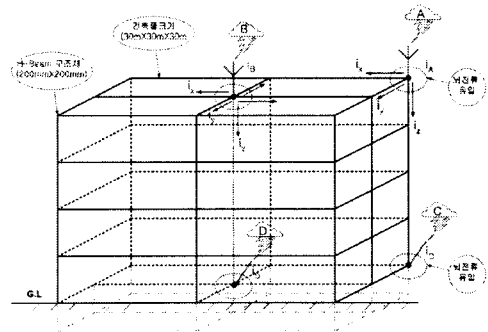
최근의 건축물들은 높이는 높아지고, 규모는 밀집화되고 있다. 또한 빌딩 내의 설비는 소형화되고 정밀화된 자동화시스템으로 바뀌고 있다. 이러한 높은 건축물들은 그 만큼 뇌격당할 확률이 높고, 낙뢰시 피해 규모도 매우 커지게 된다. 낙뢰가 떨어지는 인접지역에서는 대용량의 뇌서지와 전자기장의 영향으로 전자기기 및 시스템들이 오동작을 일으키거나 손상을 입게되므로 뇌 서지나 고주파 노이즈에 대한 보호대책이 필수적이다. 뇌전류의 주파수 성분은 60Hz의 상용 주파수로부터 수MHz의 고주파 대역까지 다양한 주파수 대역을 지니며, 뇌서지 전달경로는 신호선, 전력선, 철팔 도체 및 대기 매체 그리고 인접설비와의 지중 전위차등과 같이 다양한 유무선 경로를 포함한다^{[6],[18]}.

본 연구에서는 철팔구조 건축물을 대상으로 건축물 내로 유입되는 뇌전류 경로를 다양화하여 건축물 및 인접지역의 전위(Scalar Potentials)와 전계(Electric Fields) 분포의 크기를 시뮬레이션하였고, 또한 동일한 철팔구조체 건축물에 접지시스템을 설치한 것과 설치하지 않은 것의 전계 크기를 계산하여 비교하였다. 뇌전류의 주파수 특성 분석 및 전계분포특성은 SES사의 CDEGS 프로그램으로 계산하였다^[2].

2. 본 론

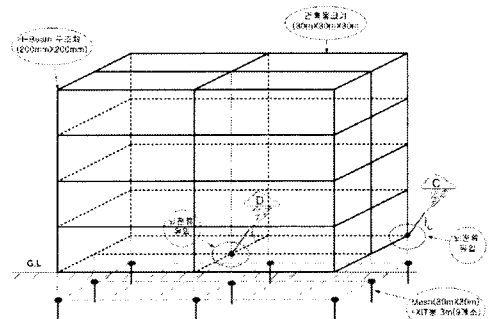
2.1 현장 모델링

본 연구에서는 30m 높이의 건축물 상부 모서리와 중앙부 그리고 건축물 하부 모서리와 중앙부로 뇌전류가 유입되는 것을 가정하였다. 건축물 크기는 가로 30m, 세로 30m 그리고 높이 30m이며, 200mmX200mm 철팔빔의 구조를 갖으며, 철팔빔은 지하 2m 깊이로 지중에 묻혀있다. 뇌격의 위치는 (그림2-1)에서 나타난 바와 같이 건축물의 상부와 하부에 유입되는 것으로 모델링하였다.



(그림2.1) 철팔구조체 건축물의 뇌격 위치

건축물내로 뇌전류가 유입될 때 건축물 주위의 전계분포 특성을 시뮬레이션하기 위한 대지저항률은 150ohm.m, 상대 유전률은 1의 균일한 토양으로 가정하였다^{[2],[13]}. 또한 접지전극의 설치에 따른 건축물의 전계분포 특성을 확인하기 위해 깊이 3m의 건축물 하부에 Mesh 면적 30mX30m, 간격 5m로 접지선을 포설하고 XIT 3m 접지봉 9개소를 매설하였다. (그림2.2)는 건축물 하부에 설치된 접지전극의 구조를 나타낸다.



(그림2.2) 건축물 하부의 접지전극 구조

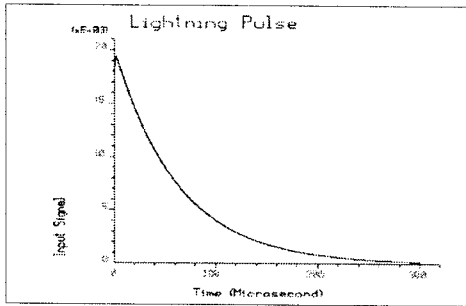
2.2 뇌서지 전류의 모델링

건축물 내로 유입되는 뇌서지 전류는 이중지수함수 형태에 의해 발생된 임펄스전류를 정의하였으며, 임펄스 서지 전류 발생식은 (1)과 같다.

$$I(t) = 20000(e^{-1.6 \times 10^4 t} - e^{-4 \times 10^6 t}) + 200(e^{-2 \times 10^4 t} - e^{-20 \times 10^6 t}) \quad (1)$$

임펄스 전류 파형의 최대전류(I_{peak})는 19.3kA, 시간(t_{peak})은 1.3 μ s, 최대 전류값의 절반으로 떨어질 때의 시간은 45 μ sec, 펄스 지속시간(t_d)은 300 μ s이다.

(그림2.3)은 이중지수함수형태의 임펄스전류 파형이다.^{[2],[7]}



(그림2.3) 이중지수함수의 뇌 서지 전류 파형

이 이중지수함수형태의 임펄스전류 파형을 Fast Fourier Transform(FFT)을 이용하여 주파수 변환하였고, FFT 변환하여 얻어진 주파수값들 중에서 0Hz, 213KHz, 973KHz의 주파수 값에 단위전류(1+j0.0)A를 주입하여, 건축물 내의 전계 분포 특성을 시뮬레이션하였다.

주파수 영역에서의 전계분포 특성에 대한 시뮬레이션은 CDGES의 HIFREQ 모듈을 이용하였다.^{[2],[13]}

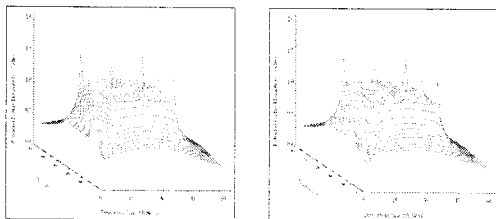
주파수 크기에 따라 계산된 접지 임피던스 응답 결과를 도표화하였으며, 그 결과는 그림4.13에 나타나 있다. 주파수에 따른 접지임피던스 응답 특성을 나타낸다.

2.3 뇌서지 전류에 의한 건축물 전계분포특성

(그림2.1)에서 건축물 내로 유입되는 뇌전류 인입점의 위치를 A, B, C, D로 구분하였다.

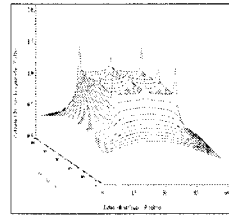
건축물 상부와 하부로 뇌전류가 유입될 때 주파수값 0Hz, 213KHz, 973KHz에 대한 전계분포특성을 계산하였다.^{[2],[15]}

(그림2.4)은 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골구조체 건축물의 주파수 60Hz에서 A 지점, B 지점, C 지점 그리고 D 지점의 지중 전위 크기를 나타낸다.

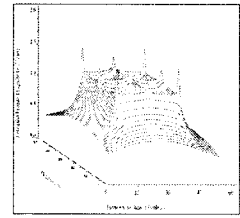


(a) A-지점의 크기

(b) B-지점의 크기



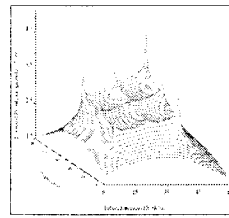
(c) C-지점의 크기



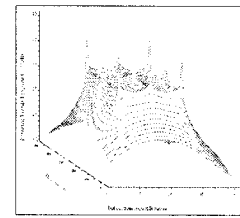
(d) D-지점의 크기

(그림2.4) 주파수 60Hz의 지중전위 크기(접지전극무)

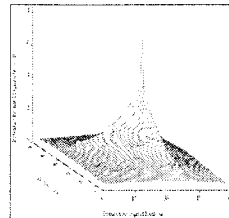
(그림2.5)은 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골구조체 건축물의 주파수 213KHz에서 A 지점, B 지점, C 지점 그리고 D 지점의 지중 전위 크기를 나타낸다.



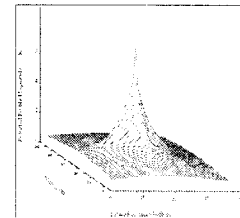
(a) A-지점의 크기



(b) B-지점의 크기



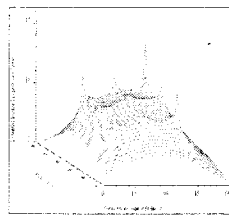
(c) C-지점의 크기



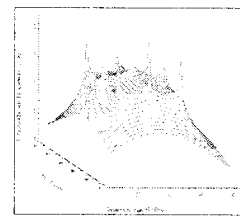
(d) D-지점의 크기

(그림2.5) 주파수 213KHz의 지중전위 크기(접지전극무)

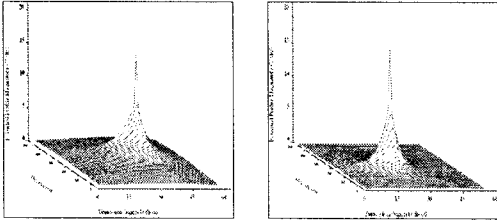
(그림2.6)은 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골 구조체 건축물의 주파수 973KHz에서 A 지점, B 지점, C 지점 그리고 D 지점의 지중 전위 크기를 나타낸다.



(a) A-지점의 크기



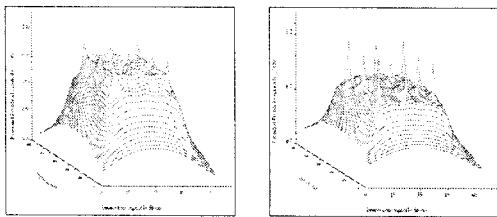
(b) B-지점의 크기



(c) C-지점의 크기 (d) D-지점의 크기

(그림2.6) 주파수 973KHz의 지중전위 크기(접지전극무)

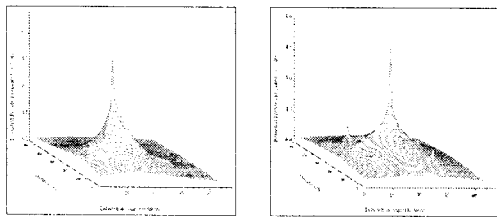
(그림2.7)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 60Hz에서의 C 지점 과 D 지점만의 지중 전위 크기를 나타낸다.



(a) C-지점의 크기 (b) D-지점의 크기

(그림2.7) 주파수 60Hz의 지중전위 크기(접지전극설치)

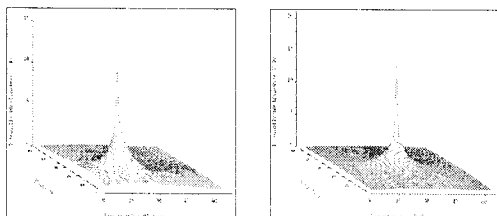
(그림2.8)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 213KHz에서의 C 지점과 D 지점만의 지중 전위 크기를 나타낸다.



(a) C-지점의 크기 (b) D-지점의 크기

(그림2.8) 주파수213KHz의 지중전위 크기(접지전극설치)

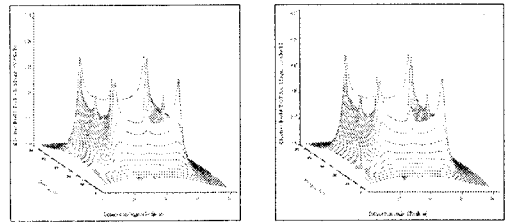
(그림2.9)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 973KHz에서의 C 지점과 D 지점만의 지중 전위 크기를 나타낸다.



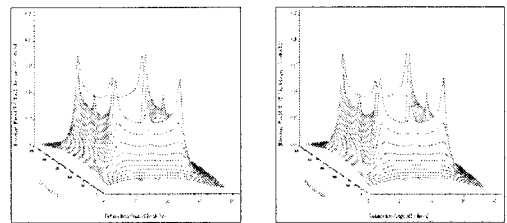
(a) C-지점의 크기 (b) D-지점의 크기

(그림2.9) 주파수973KHz의 지중전위 크기(접지전극설치)

(그림2.10)는 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골 구조체 건축물의 주파수 60Hz에서 A 지점, B 지점, C 지점 그리고 D 지점의 전계분포특성을 나타낸다.



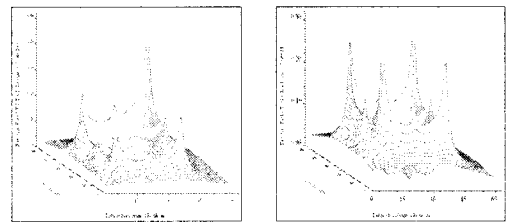
(a) A-점 전계분포특성 (b) B-점 전계분포특성



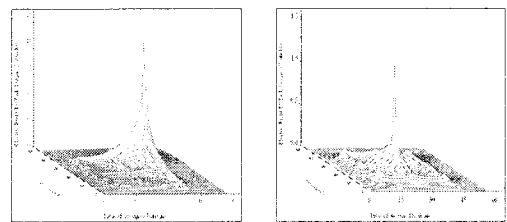
(c) C-점 전계분포특성 (d) D-점 전계분포특성

(그림2.10) 주파수 60Hz의 전계분포 특성(접지전극무)

(그림2.11)는 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골 구조체 건축물의 주파수 213KHz에서 A 지점, B 지점, C 지점 그리고 D 지점의 전계분포특성을 나타낸다.



(a) A-점 전계분포특성 (b) B-점 전계분포특성

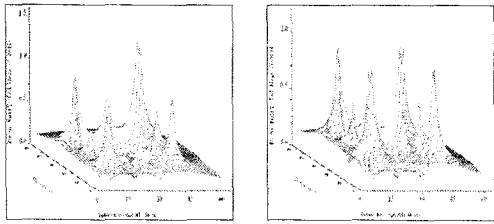


(c) C-점 전계분포특성 (d) D-점 전계분포특성

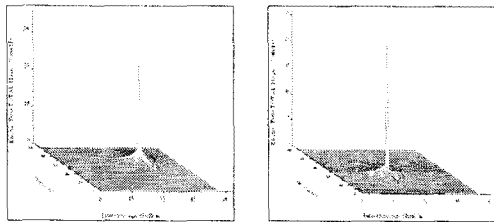
(그림2.11) 주파수 213KHz의 전계분포 특성(접지전극무)

(그림2.12)는 접지전극이 설치되어 있지 않은 철골 구조체 건축물의 주파수 973KHz에서 A 지점, B 지점, C 지

점 그리고 D 지점의 전계분포특성을 나타낸다.



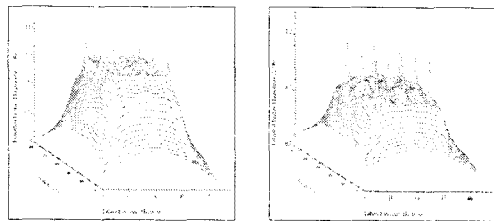
(a) A-점 전계분포특성 (b) B-점 전계분포특성



(c) C-점 전계분포특성 (d) D-점 전계분포특성

(그림2.12) 주파수 973KHz의 전계분포 특성(접지전극무)

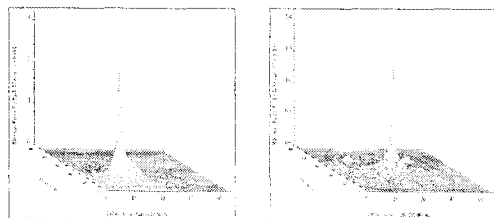
(그림2.13)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 60Hz에서의 C 지점과 D 지점의 전계분포 특성을 나타낸다.



(a) C-점 전계분포특성 (b) D-점 전계분포특성

(그림2.13) 주파수 60Hz의 전계분포특성(접지전극설치)

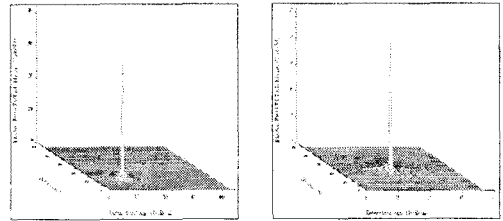
(그림2.14)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 213KHz에서의 C 지점과 D 지점의 전계분포 특성을 나타낸다.



(a) C-점 전계분포특성 (b) D-점 전계분포특성

(그림2.14) 주파수213KHz의 전계분포특성(접지전극설치)

(그림2.15)은 철골 구조체 건축물의 하부에 접지전극을 설치하여 얻어지는 주파수 973KHz에서의 C 지점과 D 지점의 전계분포 특성을 나타낸다.



(a) C-점 전계분포특성 (b) D-점 전계분포특성

(그림2.15) 주파수973KHz의 전계분포특성(접지전극설치)

건축물로 뇌서지 전류가 유입될 때 유입되는 위치의 철골도체 구조와 모양 특성은 지중의 전계분포 특성에 큰 영향을 미친다.

주파수의 크기가 작은 저주파 대역에서는 지중전위 분포의 크기는 뇌서지 전류 유입 위치에 거의 영향을 받지 않지만 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 주파수가 높아질수록 주위 철골도체 및 지중 모양에 영향을 크게 받는다. 또한 건축물 하부에 접지전극의 설치 유무에 따라 지중전위 크기와 전계 크기는 영향을 받는다.

주파수 크기 변화에 따른 건축물 주위의 전위와 전자계 분포특성은 매우 큰 차이를 나타낸다. 저주파 대역에서 지중의 전계 분포는 건축물 주위 전체에 고르게 분포 하지만 주파수가 커질수록 인입 지점에 집중하여 전위가 상승하는 것을 알 수 있으며, 전계 분포 특성도 주파수에 따라 크게 변화하게 된다.^{[5], [16-17]}

2.4 건축물의 피뢰보호설비의 설계 제안

건축물의 철골이나 접지계통으로 유입되는 뇌서지 전류의 주파수 성분에 따라 인접 설비 및 지중전위 분포는 매우 다른 특성을 나타낸다.

저 주파 성분의 서지가 유입될 때는 접지 임피던스는 리액턴스 성분이 거의 무시되고 저항 성분만을 지나게 되므로 건축물 및 접지망은 거의 동일한 전위 분포 특성을 지나게 된다. 하지만 주파수가 높아질 수록 리액턴스 성분이 점차 증가하게 되므로 인접지역의 전자계 분포 특성은 크게 증가하게 된다.

본 연구를 통해 건축물의 철골 혹은 접지시스템으로 유입되는 뇌서지 전류의 영향을 최소화하기 위해서는 뇌서지의 빠른 제거와 함께 안전한 방전경로를 구성하는 것이 매우 중요함을 확인하였다.

따라서 건축물 내로 유입되는 뇌서지 전류를 안전하게 방전시키기 위해서는 건축물 하부에 안정된 접지시스템을 설치하고 철골 구조체와 본딩함으로써 보다 효과적으로 뇌서지 전류의 영향을 줄일수 있다.^{[3], [17]}

5. 결 론

본 연구를 통해 대용량의 뇌서지 전류가 다양한 경로를 통해 건축물 내로 유입되었을 때 발생하는 건축물 주위의 전계분포 특성을 시뮬레이션하여 확인할 수 있었다. 결론적으로 뇌서지 전류의 유입 위치에 따라 건축물에 미치는 영향은 다르게 나타나므로 건축물의 철골도체와 접지시스템을 활용하여 그 영향을 최소화할 수 있다. 따라서 뇌전류와 같은 고주파 서지의 유입시 손

상을 최소화하기 위해서는 도체의 임피던스 특성과 전위 및 전계분포 특성을 고려한 방전경로의 구성이 절대적으로 필요하다.

차후에는 건축물 내의 구조물, 전력 및 신호선 그리고 접지 배선 경로를 고려한 뇌서지 전류의 영향에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 하겠다^{[2],[4][8]}.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 81, "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Groud System", 1983
- [2] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis) 사용자지침서, Version 2000 for Windows.
- [3] F.P Dawalibi, W. Ruan, S. Fotin, "Lightning Transient Response of Communication Tower and Associated Grounding Networks", Proceeding of the first IEEE International Conference.
- [4] S. Cristina and A. Orandi, "Calculation of the Induced Effects Due to a Lightning Strike", IEE Proceedings-B, Vol.139, No.4, 1992
- [5] F.P Dawalibi and A. Selby, "Electromagnetic Fields of Energized Conductors", IEEE/PES 1992 Summer Meeting, Paper#92 SM456-4 PWRD.
- [6] 박우현, 이기식, 조대훈, "노이즈간섭의 효율적제거를 위한 접지시스템 구축방안 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집 p234~238, 2001.
- [7] 신동호, 김 용, 정철희, 조대훈, "지질분석에 따른 접지방식 별 특성연구", 대한전기학회논문집 PP1293~1296, 1999
- [8] David M, Volz "Morden Land Mobile Communications site Grounding" Telecomputer Energy World Proceeding, 1995