

도전성 EMI 저감을 위한 구조체의 뇌격전류 분류를 분석

조성철*, 이태형*, 엄주홍*, 이복희**
 기초전력연구원*, 인하대학교**

Analysis of Lightning Current Distribution for Reducing the Conductive EMI in a Structure

Sung-Chul Cho*, Tae-Hyung Lee*, Ju-Hong Eom*, Bok-Hee Lee**
 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute*, Inha University**

Abstract - Lightning current distribution in a building directly hit was studied by using a scaled steel frame structure model. As the test current source, impulse current with the rise time of 10 μs and sinusoidal current with the frequency of 30 kHz were used to confirm the validity of test results. The current distributions at both horizontal and vertical pillars were measured by using CT. From the test results, the reduction effect for the conductive EMI was verified and a design method reducing the conductive EMI was proposed.

1. 서 론

건물의 수뢰부 피뢰시스템(lightning protective system)에 직격뢰가 들어오는 경우 뇌격전류는 인하도선시스템을 통하여 접지시스템으로 이동하여 대지로 빠져나가게 된다. 이 때 인하도선시스템의 형상에 따라서 분류되어 흐르는 뇌격전류 크기가 달라지며, 이 전류는 구조체의 각 기둥에서 도전성 EMI의 소스가 된다. 구조체에서 발생하는 도전성 EMI는 구조물 내부의 전자기기에 피해를 줄뿐만 아니라 전위차에 의한 불꽃방전으로 화재가 발생할 수 있다[1].

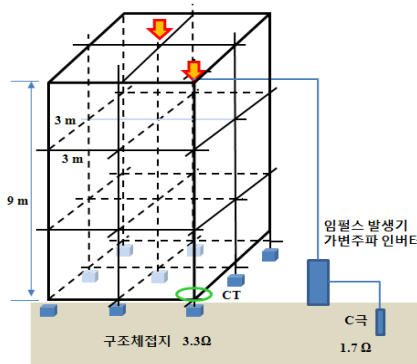
구조체에서의 도전성 EMI에 대한 연구는 세계적으로 80년대부터 시작되었으나 실험상의 많은 제약조건으로 인하여 활발히 수행되지 못하였다. 대표적인 제약조건으로는 실제 크기의 구조체 제작과 구조체 접지시스템의 설치 그리고 실제크기의 뇌격전류 인가를 들 수 있다. 이러한 이유로 많은 연구자들은 축소형 모델과 전자기모델 등을 이용한 시뮬레이션으로 연구를 수행해왔다[2-5]. 하지만 이 연구결과들은 실제크기 구조물에서의 전류분류 실험 결과와 비교·검증이 요구되고 있다.

본 논문에서는 실제 크기 3층 구조체와 구조체 접지시스템을 설치하고 10 μs의 상승시간을 갖는 임펄스전류와 30 kHz 정현파전류를 이용하여 뇌격지점의 위치에 따라 구조체에서의 뇌격전류 분류율을 측정하였다. 또한 도전성 EMI저감을 위한 방법을 제안하고 전류분류율을 측정하고 상호 비교·분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험계 구성

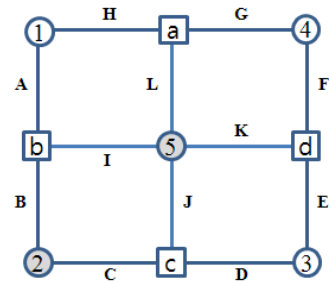
3층 크기의 구조체를 모의하기 위하여 폭이 6 m, 높이 9 m 크기의 구조체를 비계를 사용하여 그림 1과 같이 제작하였다. 구조체접지전극은 10 × 10 m 크기의 메쉬형태이며, 접지저항은 3.3 Ω이다. 구조체접지전극과 구조체는 4곳의 모서리와 가운데 지점을 접속하여 연결하였다. 전류보조전극(C극)은 1.7 Ω이며, 구조체접지전극과 약 30 m 정도의 위치에 설치하였다.



〈그림 1〉 실험계 구성

인가전원은 최초 뇌격전류파형 10/350 μs을 대신하여 상승시간 10 μs를 만족하는 임펄스전류로 실험하였다. 임펄스전류에 의한 과도특성은 상승시간의 영향을 가장 많이 받기 때문에 상승시간을 동일하게 하였다. 또한 상승시간이 10 μs 임펄스전류의 등가주파수인 30 kHz 정현파전류를 가변주파인버터를 사용하여 인가하였다. 수평기둥과 수직기둥에 분류되는 전류는 클램프형 CT(Pearson 3525)를 사용하여 각각 측정하였다. 직격뢰가 인가되는 위치에 따른 전류분류율을 분석하기 위해서 꼭대기 층의 중앙지점과 모서리지점에서 각각 전류를 인가하였다.

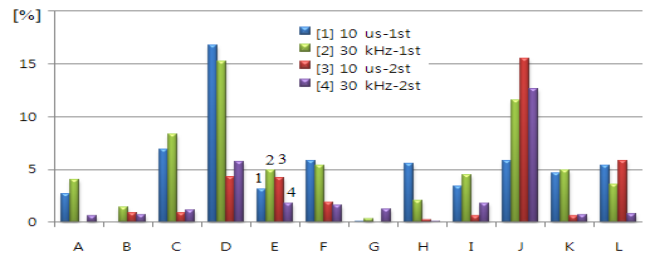
구조체 내 수평기둥과 수직기둥에서의 전류분류율 결과를 효과적으로 나타내기 위하여 그림 2와 같이 표시하였다. 수평기둥은 알파벳으로 나타내었으며, 수직기둥은 숫자로 나타내었다. 모서리의 인가위치는 꼭대기 층의 ②번이며, 중앙의 인가위치는 꼭대기 층의 ⑤번이다. 구조체 접지전극과 접속된 구조체의 수직기둥은 ①~⑤로 다섯 곳이며, 저감대책으로 소문자 a, b, c, d의 네 곳을 추가로 연결하였다.



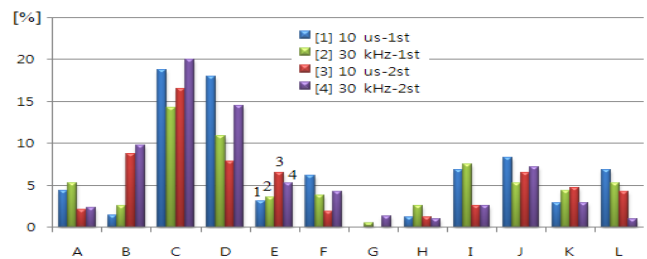
〈그림 2〉 구조체 기둥 표시

2.2 임펄스 전류와 정현파 전류에 의한 전류 분류율

상승시간이 10 μs인 임펄스 전류와 30 kHz의 정현파전류를 중앙과 모서리에 각각 인가하였다. 구조체 1층과 2층의 수평기둥에서 임펄스전류와 정현파전류에 의한 전류 분류율을 그림 3에 나타내었다.



(a) 중앙인가(⑤)



(b) 모서리인가(②)

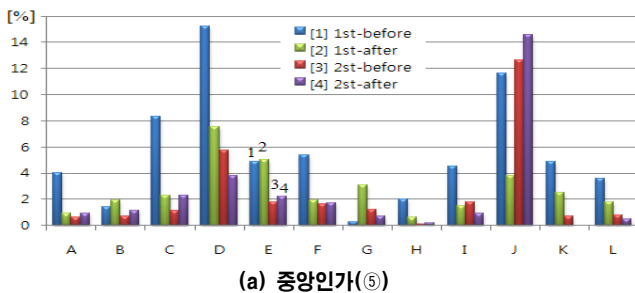
〈그림 3〉 구조체 수평기둥에서의 전류 분류율

중앙에 인가한 경우, C, D, J의 수평기둥에 전류 분류가 집중되었는데, 그 이유는 이 위치의 대지저항률이 다른 위치의 대지저항률보다 낮기 때문이라고 판단된다. 그리고 2층보다 1층의 수평기둥에서 분류되는 전류의 크기가 더 큰 것을 확인하였다. 이것은 매쉬형태의 구조체에서 전류 분류율에 영향을 주는 요소는 1층에서 구조체접지전극과 직접 연결된 기둥이 더 크게 작용하여 중간층의 기둥은 상대적으로 영향이 작은 것으로 판단된다.

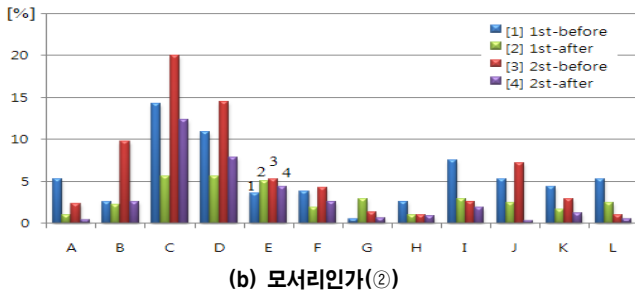
모서리에 인가한 경우, 역시 수평기둥 C와 D에 전류분류율이 집중된 것을 알 수 있다. ②번 기둥과 가장 가까운 위치의 B와 C의 수평기둥 그리고 대지저항률이 상대적으로 낮은 C와 D의 수평기둥에 전류가 집중적으로 분류되었다. CDEGS 시뮬레이션 결과, 대칭 위치에 있는 수평기둥에서는 동일한 전류가 분류되었다. 이것은 동일한 대지저항률의 대지에 구조체접지전극이 매설되었다고 가정한 후 시뮬레이션이 수행되기 때문이다. 실제 빌딩에서는 본 논문의 실험과 같이 대지저항률이 구조체 접지전극이 매설되는 위치에 따라 다르기 때문에 전류분류율이 달라진다. 따라서 C와 D의 수평기둥에 전류가 집중적으로 흐르는 현상이 발생하는 것은 실제 빌딩에서도 충분히 예상되는 현상이다. 이렇게 특정 위치의 수평기둥에 전류분류율이 높아져 위험한 수준의 도전성 EMI가 발생할 수 있다.

2.3 도전성 EMI 저감 대책

상기의 실험결과와 같이 특정 위치의 수평기둥에 뇌격전류가 집중될 경우, 그리고 인하도선시스템과 집지전극시스템의 형상 혹은 설치 기법 등의 영향으로 도전성 EMI가 증가하는 경우에 이에 대한 저감대책이 필요하다. 도전성 EMI를 저감시키는 여러 방법 중에서 그림 2에서와 같이 구조체와 구조체접지전극 사이에 접속부를 증가시키는 방법을 본 논문에서 제안하였다. 기본적으로 5곳이 연결된 상태에서 추가적으로 4곳을 연결시키고, 전류의 분류율을 측정하여 비교하였다. 그림 4는 저감대책 적용에 따른 구조체 수평기둥에서의 전류 분류율을 보여준다.



(a) 중앙인가(⑤)



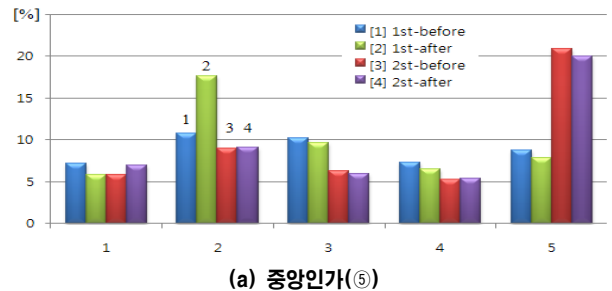
(b) 모서리인가(②)

<그림 4> 저감대책 적용에 따른 구조체 수평기둥에서의 전류 분류율

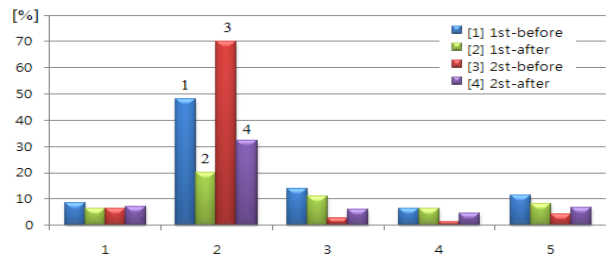
중앙에 인가한 경우 1층의 수평기둥 D에서 전류는 15.2%에서 7.5% 까지 감소하는 효과를 보였다. 또한 1층 수평기둥 J에서도 11.6%에서 3.8%로 매우 큰 저감 효과를 보였다. 1층과 2층의 수평기둥에서 저감대책 적용 후 전류 분류율이 작아지는 것을 확인하였다. 모서리에 인가한 경우 전류분류율이 다른 수평기둥보다 높게 나타났던 1층 수평기둥 C와 D에서 감소효과가 크게 나타났다. 도전성 EMI 감소효과는 중앙에 인가한 경우 최대 7.8%의 효과가 나타났으며, 모서리에 인가한 경우 최대 8.6%의 효과가 나타났다. 최대 감소효과가 나타난 수평기둥은 C와 D였다. 이것은 대지저항률이 다른 곳에 매설되는 구조체접지전극에서 뇌격전류의 분류율이 임의의 수평기둥에 집중되는 것을 분산시킬 수 있는 방법이 될 수 있다.

저감대책 적용에 따른 구조체 수직기둥에서의 전류 분류율을 그림 5에 나타내었다. 수평기둥의 실험결과와는 다르게 전류가 인가된 기둥 위치에서의 각 층의 수직기둥에 전류분류율이 높게 나타났다. 정현파전류가 중앙에 인가된 경우 전류분류율이 2층보다 1층에서 더 비슷한 크기로 나뉘는 것을 확인하였다. 전류가 맨 꼭대기에서부터 내려오면서 수평기둥의 영향으로 전류가 구조체 전체로 분류되어 1층의 5개 기둥에서 비슷한 크기로 분류되어 진다. 수직기둥 역시, 대지저항률이 상대적으로

낮아 전류분류율이 높았던 수평기둥 C와 D가 연결된 수직기둥 ②와 ③에서 다른 수직기둥보다 높은 전류분류율을 보였다. 모서리에 인가한 경우 2층에서는 70%의 전류가 1층에서는 48%로 감소하였다. 중앙에 인가한 경우보다 더 큰 전류 분류율을 나타내는데, 이것은 모서리에 인가한 경우 구조체의 수평기둥이 전류 분류의 기여도가 중앙에 인가한 경우보다 낮다는 것을 의미한다.



(a) 중앙인가(⑤)



(b) 모서리인가(②)

<그림 5> 저감대책 적용에 따른 구조체 수직기둥에서의 전류 분류율

저감대책 적용 이후 중앙에 전류를 인가하였을 때 전류 분류율은 약 1% 내외로 나타났으며, 예외적으로 ②번 기둥에서는 6.8% 증가하는 경우도 있었다. 하지만 모서리에 인가한 경우 1층에서는 27.8%, 2층에서는 37.5%로 수평기둥에서의 결과와 비교했을 때 더 큰 저감효과를 보였다. 그림 2에서 제안한 저감대책은 구조체의 수직기둥이 구조체접지전극과 직접 연결된 것으로 수평기둥보다 수직기둥에서의 전류분류율 감소효과가 높았다. 수평기둥과 수직기둥의 전류분류율을 비교·분석한 결과 구조체와 구조체접지전극 사이의 접속부가 많을수록 직격뢰에 의한 도전성 EMI를 저감하기에 효과적임을 확인하였다.

3. 결론

본 논문은 실제 3층 크기의 구조체와 구조체 접지전극을 모의하여 뇌격전류가 구조체에 인가되었을 때의 전류분류율을 측정하고, 도전성 EMI의 저감방법을 제안하여 이를 함께 측정하고 분석하였다. 상승시간이 10 μs의 전류파형과 30 kHz의 정현파전류파형으로 구조체에서의 전류분류율을 측정하고 비교하였다. 10 μs의 등가주파수인 30 kHz의 정현파전류의 실험결과가 임펄스전류의 실험결과가 유사함을 확인하였다. 도전성 EMI를 저감할 수 있는 방법으로 구조체와 구조체접지전극 사이의 접속부 개수를 증가시킨 방법을 제안하였다. 이에 대한 30 kHz 정현파전류의 분류율 실험결과, 중앙에 인가한 경우와 모서리에 인가한 경우 1층과 2층의 수평기둥과 수직기둥에서의 전류 분류율이 감소하였다. 제안한 설계방법이 도전성 EMI를 저감시키는 효과가 있음을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] IEC 62305, "Protection against lightning", 2006.
- [2] R. Markowska, A.W. Sowa, "Evaluation of separation distance between LPS and conductive installation inside the structure", ISLP, 2009.
- [3] Q. Zhou, Y. Du, "Using EMTP for evaluation of surge current distribution in metallic gridlike structures", IEEE Tran., Vol.41, No.4, 2005.
- [4] M. Ishii, "Electromagnetically evaluated distributions of current and magnetic field in building hit by lightning", ISLP, 2007.
- [5] S. Miyazaji, M. Ishii, "Numerical electromagnetic analysis on current distribution in building directly hit by lightning", Electrical Engineering in Japan, Vol.159, No.1, 2007.