

EMTP를 이용한 체적 변화에 따른 전기 설비의 surge current 해석

김민수, 안남주, 고광철
한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

Lightning surge current analysis of electrical equipment using EMTP in changing volume

Min-Su Kim, Nam-Ju An, Kwang-Cheol Ko
Division of Electrical & computer Eng., Hanyang University

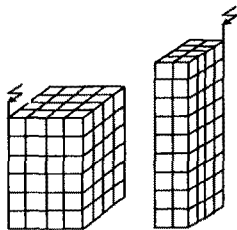
Abstract - 전력계통의 과도현상 분석용으로 개발된 수치계산 프로그램인 EMTP (Electromagnetic Transient Program)를 사용하여 건물내에 낙뢰에 의한 뇌서지가 침입했을 때 건물 전체에 surge current가 어떻게 확산되어 가는지를 분석해 본다. 이러한 현상을 분석하기 위해서 건물의 등가회로를 π -회로로 구현하고, ANSI 규격에 맞는 뇌서지를 건물에 유입시켜서 그에 따른 건물 내부의 current 분포를 알아본다. 그리고, 건물 체적을 변화시켜 가면서 뇌 서지가 건물 내부의 전기기기에 미치는 영향을 해석해 본다.

1. 서 론

일반적으로 건물내에 낙뢰에 의한 뇌서지가 침입시 뇌서지 영향에 의해 여러 가지 장애가 발생한다. 이러한 뇌서지가 전기기기에 유입 되었을 때 기기파손, 오동작, 잠음발생 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한, 정보 기술 관련 기기는 건축물 내부, 외부가 유선으로 망상화 되어 있고 대부분의 기기의 전원은 상용 전원으로 부터 공급되고 있다. 이와같이 금속도체로 연결되어 있는 경우에는 주변의 낙뢰에 의해 생기는 뇌 서지의 영향에 의해 여러 가지 장애가 발생한다. 이러한 문제를 방지하기 위해 뇌서지 보호장치의 적용, 차폐 등의 대책을 쓰고 있지만, 실제적인 뇌서지 발생시에 surge current가 전기기기에 유입되는 현상에 대한 근본적인 이해가 우선적으로 필요하다.

이러한 관점에서 본 논문은 EMTP를 사용하여 건물의 체적에 따른 등가 모델을 다르게 구현하고, 전기설비를 건물의 등가모델에 추가시켜 건물에 뇌서지가 침입했을 때 건물의 체적 변화에 따른 전기설비의 surge current를 해석해 본다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과는 건물체적에 따른 전기설비의 보호와 적절한 접지 방법을 선택하는데 사용될 수 있을 것이다.

EMTP는 서지 현상을 분석하기 위해 개발되었고 교류, 직류 연계 계통의 해석, 고조파 해석까지 가능한 범용성 프로그램이고 또한 단상 및 다상회로에서 정상상태는 물론 과도상태에서의 전압, 전류, 전력, 에너지 등을 사용자의 선택에 따라 시간영역에서 계산할 수 있기 때문에 본 논문에서 이용하였다.



<그림 1> Metallic gridlike structure of a building

2. 본 론

2.1 등가모델 구현

본 논문에서는 건물내에서의 Surge current를 해석하기 위한 등가모델을 그림 3과 같이 뇌격전류, π -model circuit, 부하단으로 구성하였다.[6]

2.1.1 뇌격전류

뇌서지에 의한 뇌격전류의 강도는 LPATS(Lightning Position and Tracing System)에 의해 조사된 바에 의하면 최대 크기 200kA, 최소 크기 8kA, 평균 40kA로 나타난다.[1] 본 논문에서는 위의 자료를 바탕으로, 뇌격전류의 크기를 60kA로 정하였다.

<표 1> 뇌격전류의 규격

	Amplitude [A]	T _f [sec]	tau [sec]
Value	60000	0.000008	0.00002

T_f(The front duration): 뇌격전류의 크기가 0에서 peak값 까지 상승하는데 걸리는 시간

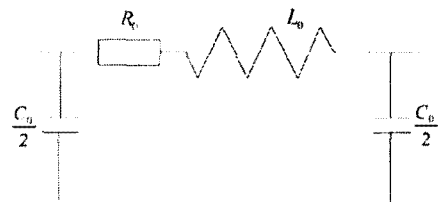
tau(The stroke duration): 뇌격전류의 크기가 peak값에서 peak값의 37% 까지 떨어지는데 걸리는 시간

2.1.2 π -model circuit

많은 현대식 건물들은 뇌서지 보호 시스템으로 reinforcing steel bar를 사용하고 있는데, 이러한 reinforcing steel bar는 물리적으로 서로 연결되어서 격자구조를 이루고 있다. 직접적으로 뇌서지가 건물에 침입하거나, 건물 주변에 가해졌을 때, 뇌격전류가 만들어 진다. 그리고, 그것은 전기적 또는 자기적으로 결합되어서, 건물의 reinforcing steel bar를 통해서 흐른다. 건물 전체에 흐르는 뇌격전류를 분석하기 위해 등가의 electric network로 모델링 하였다.[1]

건물이 철골 격자로 이루어진 구조라고 가정할 때, 위의 방식으로 건물의 한 격자를 모델링한 것이 π -model circuit이다. 이것을 이용해서, 건물의 한 면면을 transverse impedance R₀, L₀, 그리고, longitudinal capacitance C₀로 간단하게 표현하였다.[2,3]

그림 2에서 capacitance와 impedance는 geometric parameter와 격자의 물질 특성에 의해서 결정된다.



<그림 2> Equivalent π -circuit of a segment

2.1.3 건물 체적에 따른 등가모델 및 Parameter

건물의 등가모델은 π -model circuit을 기본으로 하여 구성하였다. surge current가 상당히 고주파이기 때문에 inductor값을 제외한 capacitor와 resistor로 π -model circuit을 구성하였다.

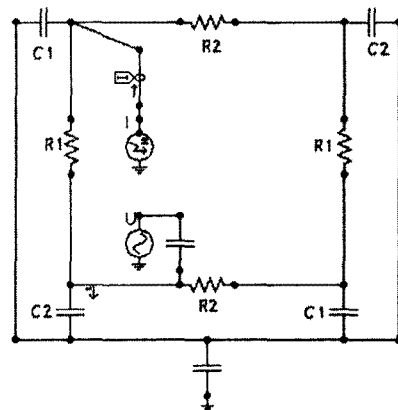
해당 소자값은 resistor의 경우는 $R=길이/(도전율*면적)$ 으로 계산하였다. 도전율은 철의 도전율으로, 면적과 길이는 건물 철근의 ANSI 규격을 활용하고, 건물 체적을 이용하여 구하였다.

capacitor의 경우는 $C=(유전율*면적)/길이$ 로 계산하였다. 여기서, 유전율은 콘크리트의 비유전율* 공기중의 유전율이고, 면적과 길이는 저항값과 같이 건물 철근의 ANSI 규격을 활용하고, 건물 체적을 이용하여 구하였다.[4,5]

철의 도전율 : 1.03×10^7 S/m

콘크리트의 비유전율 : 8-10 (일반적인 건물일 경우 9)

철근의 ANSI 규격(지름) : 31.8mm (D32)



<그림 3> 등가모델

<표 2>

Data	W(m)*D(m) *H(m)	R1(mΩ)	R2(mΩ)	C1(pF)	C2(pF)
1	5*10*20	0.0122	0.024	9.75	4.87
2	10*10*10	0.048	0.048	2.53	2.53
3	20*10*5	0.188	0.096	6.336	1.267

(W=Width, D=Depth, H=Height)

전기설비의 경우는 고전압 전기설비를 이용하였는데, 전기설비의 capa-citor값은 C=(공기중의 유전율 * 방전판의 면적)/길이를 이용하여 구한 1.59pF 으로 모델링 하였다.[7,8]

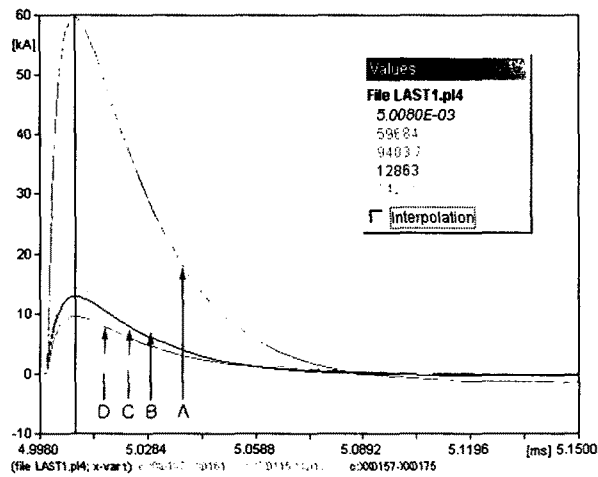
(공기중의 유전율 : 8.854×10^{-12} F/m)

2.2 시뮬레이션 및 파형 해석

본 논문에서는 그림 3을 대상으로 EMTP를 이용하여 건물내에서의 뇌서지가 발생시의 영향을 건물의 체적을 변화시켜 가면서 시뮬레이션 하였고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 체적에 따른 건물의 surge current 해석과 전기설비의 surge current 해석을 하고자 한다.

2.2.1 체적에 따른 건물의 surge current 해석

그림 4는 체적에 따른 건물의 한 부분에서의 surge current의 영향을 나타낸 것으로, 체적이 Width*Depth*Height가 5m*10m*20m, 10m*10m*10m, 20m*10m*5m 인 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다.



<그림 4> 체적에 따른 건물의 surge current

<표 3>

체적	5m*10m*20m (B graph)	10m*10m*10m (C graph)	20m*10m*5m (D graph)
surge current(A)	14285	12863	9483.7

(뇌격전류(A graph) : 60kA)

위의 출력 파형에서 알 수 있듯이 건물의 체적이 20m*10m*5m 일 때, 가장 적은 surge current가 발생하는 것을 알 수 있다. 반면에, 건물의 체적이 5m*10m*20m 일때, 가장 많은 surge current가 발생하는 것을 알 수 있다. 위의 결과를 종합해 볼때, 체적에 따른 surge current 영향이 다음을 알 수 있다. 이러한 결과를 Biot-Savart law에 적용시켜 보면 체적에 따라 건물내에 미치는 자장의 정도가 다음을 예상할 수 있다.

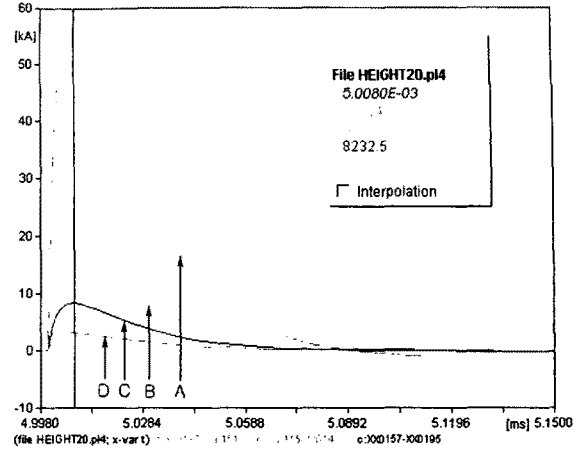
위의 결과로 볼때, 건물바닥이 좁고, 높이가 높은 건물일 수록 자장의 영향이 더 클 것으로 예상된다.[9]

2.2.2 체적에 따라 전기설비에 흐르는 Surge current 해석

그림 5는 건물 체적에 따른 전기설비에 흐르는 surge current의 영향을 나타낸 것으로, 체적이 Width*Depth*Height가 5m*10m*20m, 10m*10m*10m, 20m*10m*5m 인 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다.

체적이 변함에 따라 전기설비의 surge current가 변함을 알 수 있다. 5m*10m*20m 체적의 경우에 전기설비의 surge current가 가장 많이 흐르는 것을 알 수 있는데, 이는 건물의 높이가 높고 바닥의 면적이 좁을 수록 전기설비의 surge current 영향이 더 크다고 분석된다.

20m*10m*5m 체적의 경우에 전기 설비의 surge current가 가장 적게 흐르는 것을 알 수 있는데, 이는 건물의 높이가 낮고 바닥의 면적이 넓을 수록 전기설비의 surge current 영향이 더 적다고 분석된다.



<그림 5> 전기설비에 흐르는 Surge current

<표 4>

체적	5m*10m*20m (B graph)	10m*10m*10m (C graph)	20m*10m*5m (D graph)
surge current(A)	17582	8232.5	3097

(뇌격전류(A graph) : 60kA)

3. 결 론

본 논문의 연구 목표는 EMTP를 이용하여 뇌서지가 건물에 침입했을때 건물 체적에 따른 전기설비의 surge current 영향을 분석하는 것으로, 시뮬레이션을 위한 간략화 된 등가모델을 구현하였다. 등가모델은 건물체적에 따라 계산된 resistor와 capacitor 값을 사용하였다. 이에 따른 전기 설비의 surge current 영향을 분석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 등가모델은 건물 상단부에 직접 뇌서지가 작용했다는 가정하에 π -circuit model을 이용하여 1층 높이의 다른 체적의 건물을 구현하였다.
- 2) 건물 체적에 따른 전기설비의 surge current 영향이 다음을 알 수 있는데, 건물 바닥의 면적이 좁고 높이가 높을수록 surge current 가 더 많이 흐르므로, 건물 설계시 고려될 수 있다.
- 3) 뇌서지가 건물에 침입했을때, 체적에 따라 건물내에 다른 surge current가 발생하는데, surge current 에 의해 발생하는 자장의 영향이 체적에 따라 다음을 예상 할 수 있다. 이것을 바탕으로, 건물내에 자장에 민감한 장비의 설치시에 체적이 고려될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. W. Woo, J. S. Kwak, D. J. Kweon, E. B. Shin, J. D. Moon, S. O. Han, "The inspection results regarding lightning location error of KEP CO-LAPTS and the calculated results on the lightning surge in the KEPCO power system", 2003
- [2] Qi-Bin Zhou, Y. Du, "Using EMTP for Evaluation of Surge Current Distribution in Metallic Gridlike Structures", IEEE Trans, vol. 41, NO. 4, July/August 2005
- [3] Andrzej Sowa, "Surge Current Distribution in Building During a direct Lightning Stroke", IEEE, 1991
- [4] A. Geri, G. M. Veca, "A Complete Lightning Protection System Simulation in the EMI Analysis", IEEE, 1991
- [5] Shoichi KURAMOTO, Masaji SATO, Minoru OHTA, "Surge Current and Voltage Distribution in a Reinforced Concrete Building Caused by Direct Lightning Stroke", IEEE, 1991
- [6] K. U. Leuven EMTP centre, "Alternative transient program(ATP) Rule Book", 1987
- [7] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Ju-Hong Eom, "Effective Protection Methods of Household Electric Appliances from Lightning Surges", 전기학회논문지, pp.149-156, 2004년 3월
- [8] Bok-Hee Lee, Young-Hun Kong, Won-Kyu Choi, Duk-Kyu Jeon, "Pspice Simulation for Nonlinear Components and Surge SuppressionCircuits", 전기학회논문지, pp.477-486, 2000년 8월
- [9] A. Orlandi, C. Mazzetti, Z. Flisowske, M. Yarmarkin, "Systematic Approach for the Analysis of the Electromagnetic Environment Insidea Building During Lightning Strike", IEEE Trans, pp.521-535, vol.40NO.4, November 1998