

EMTP를 이용한 뇌서지 모델링 및 계통영향 분석

김덕일, 박세호, 이상봉, 김철환
성균관대학교

Lightning Surge Modeling Using EMTP and System Effects Analysis

Doc-il Kim, Se-Ho Park, Sang-Bong Rhee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 전력계통에서의 과전압은 계통의 상태 또는 외부상태인 대기의 방전의 결과로써 기원한다. 낙뢰에 의한 뇌서지는 여러 과전압 중에서 가장 큰 전압을 가진다. 절연요구사항에 대한 뇌 과전압의 크기를 특정화하고, 절연 섬락을 발생하는 위험한 뇌격전류를 발견하는 것은 전력계통의 설비 보호를 위한 중요한 요소이다. 본 논문에서는 과도해석 프로그램인 EMTP를 이용하여 송전선로 및 첩탑을 모델링하고, 낙뢰에 의한 과전압이 발생하였을 때 송전선로 및 첩탑에 어떻게 영향을 미치는지 모의하고 분석하였다.

1. 서 론

송전선로 상에서 뇌서지는 과전압을 일으키는 주된 원인이다. 뇌는 대부분 주위 온도가 높고 대기가 습한 여름날에 발생한다. 삼면이 바다로 둘러싸여 있고, 습한 날씨를 가지고 있기에 국내 기후에서 안정적이고 효율적인 전력전송을 위해 뇌서지에 대한 과도현상은 다방면으로 모의 분석할 필요성이 판단된다. 또한 뇌서지 현상이 수반된 전력계통 연구는 송전선로와 변전소를 설계하는데, 그리고 전력계통 설비의 보호를 위해 수행된다. 변전소 승압과 송전선로 단축은 뇌서지 분석을 요구하는 특별한 연구의 일부이고, 뇌 과전압의 크기를 특정화하고, 절연 섬락을 발생하는 위험한 뇌격전류를 발견하는 데 사용된다. 뇌 과전압은 송전선로에서의 첩탑 절연의 차폐효과나 역섬락에 의해 발생된다. 상도체에 대한 직격되는 송전선로 및 변전소가 상대적으로 낮은 뇌 활동에 의해 차폐되지 않았을 때 고려된다. 그리고 변전소에 대한 직격뇌는 변전소의 차폐선이나 피뢰침을 통해 완전하게 차폐된 것으로 가정한다[1-2].

첩탑에 뇌서지가 발생하였을 때 절연이 파괴되어 섬락이 송전선로 상에 유입돼 계통의 안정성을 방해한다. 따라서 뇌서지 현상에 대한 이해 및 분석은 전력계통의 절연설계 및 계통의 안정적인 운영을 하기 위해 필요하다. 따라서 본 논문에서는 과도해석 프로그램인 EMTP를 이용하여 송전선로 및 첩탑을 모델링 하고, 낙뢰에 의한 과전압이 발생하였을 때 송전선로 및 첩탑에 어떠한 영향을 미치는지 모의하고 분석하였다.

2. 뇌서지

2.1 뇌서지의 종류

온도의 차이 때문에 습한 공기는 낮은 온도의 낮은 고도로 이동한다. 찬 공기는 따뜻한 대기보다 더 적은 물을 포함한 빔방울을 형성한다. 빔방울은 더 낮은 이온층 부분과 지구의 표면 사이에 나타난 자기장에 의해서 극성을 가지게 된다. 빔방울의 수평이동과 바람변형은 빔방울을 (-)와 (+)로 쪼갠다. (+) 빔방울은 중력의 영향으로 지표로 떨어지고, 소나기를 형성한다. 뇌운의 대부분은 수백 Megavolts의 대전포텐셜 (-)로 충전된다. 뇌운 내에서 (-)로 충전되는 빔방울에 의하여 형성된 전하공간은 10000V/m의 차속에서 편향하게 강한 전기장을 형성하고, 빨리 움직이는 (-) 이온을 합당한 속력으로 가속시킨다. 가속된 (-) 이온과 대기 분자 사이의 충돌은 (-)이온을 발생시키고, Avalanche가 발생한다. 강한 전기장이 발생하고, 방전을 시작한다. (-)전하는 약 10 ms 내에 표면에 도달하게 되고 뇌서지가 발생한다. 뇌서지는 다음의 세 가지로 분류해 볼 수 있다.

- ① 직격 뇌에 의한 서지(차폐 실패)
- ② 유도 뇌에 의한 서지(전력 설비 근방의 뇌격)
- ③ 역섬락

2.1.1 직격 뇌에 의한 서지

뇌격이 첩탑, 차폐선 또는 선로에 직접 침입하는 서지로서, 뇌격거리에 기반한 Electro-Geometric 모델에 의해 최대 낙뢰 전류를 예측할 수 있다. 대부분 (-)극성이며, 한차례 이상의 뇌격을 가진다. 대부분의

매우 큰 값의 전류에 의해 차폐 실패가 발생할 가능성이 크며 이때 섬락이 발생한다. 일반적으로 전류는 20kA보다 작다.

2.1.2 유도 뇌에 의한 서지

정전기적 유도 현상과 전자기적 유도 현상에 의해 생기는 서지로 분류할 수 있다. 정전기적 유도 현상은 대부분 (-)극으로 충전된 극성의 뇌운이 선로에 접근하면 정전유도현상에 의해 선로에는 반대 극성의 구속 전하가 발생하고, 뇌운이 방전하게 되면 선로는 구속 전하에 의해 이상 전위를 발생 시킨다. 전자기적 유도현상은 구름에서 유도된 전하가 대기 간 또는 다른 구름으로 방전 될 때 발생하는 전류의 변화에 따라 자기장이 변하고, 이 자기장의 변화에 따라 선로의 전압이 유도 될 수 있다. 대부분 200~300kV의 크기를 가지며, 파도장이 20~30us, 파피장이 200~500us 정도 되는 완전한 파형을 가진다.

2.1.3 역섬락

뇌가 첩탑이나 차폐선을 칠 때 첩탑 또는 차폐선의 전압은 상승하고 상도체 간의 전압 차에 의해 섬락이 발생한다. 서지 전류의 일부가 상도체를 따라 전달되며, 일시적인 지락 고장이 발생할 수 있어 차단기 트립의 원인이 된다. 역섬락에 의한 서지는 매우 경사가 높은 파형을 만들어 낸다. 변전소 설계에서, 낙뢰는 역섬락을 고려하여 인입 선로의 차폐선이나 인근의 첩탑에 치는 것으로 가정한다. 200~300kA의 크기를 가지며, 최대 전류 기울기는 20kA에서의 약 20kA/us로부터 200kA에서의 48kA/us의 범위이다.

2.2 EMTP를 이용한 뇌서지 모델링

뇌서지는 일반적으로 전류원을 사용하여 모델링하며 EMTP에서 제공하는 뇌서지를 위한 전류원은 다음 표 1과 같다.

<표 1> EMTP에서 이용가능한 뇌서지 전류원

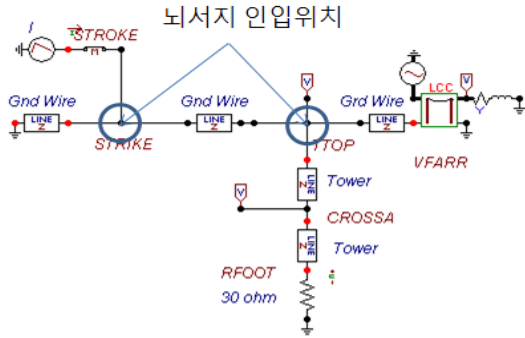
NO.	종류	특징
1	Surge type	① 두 개의 지수함수로 뇌서지 전류원 표현 ② Standler type 보다 정확한 모델링 가능함
2	Heidler type	① peak 값까지 도달하는데 걸리는 시간과 peak의 37% 까지 도달 하는데 걸리는 시간을 입력 하여 뇌서지 특성을 반영함
3	Standler type	① 하나의 지수함수를 사용하여 뇌서지 전류원을 표현함 ② 실제 뇌서지와 오차가 가장 큼
4	Cigre type	① front time과 tail time를 입력하여 뇌서지 전류원 표현 ② 정확한 모델링이 가능함
5	Slope-Ramp type	① 두 개의 slope를 사용하여 뇌서지 전류원 표현

본 논문에서는 뇌서지를 간단하게 근사화 할 수 있는 Slope-Ramp type을 사용하여 뇌서지 전류원을 모델링 하였다.

3. 모의 및 결과

3.1 대상 모델 계통

본 논문에서는 그림 1과 같이 154[kV]전원과 첩탑을 모델링하였고, 뇌서지에 의한 과도전압이 송전선로와 첩탑에 미치는 영향을 알아보았다. 뇌서지 인입위치는 첩탑의 TOP 부분과 첩탑의 TOP 부분에서 100m, 200m 떨어진 지점으로 각각 설정하였다.



〈그림 1〉 EMTP로 모델링한 모델 계통

모델링에 사용한 철탑의 제원은 표 2와 같다. 철탑에서 대지까지의 접지 저항은 30[Ω]로 설정하였고 상도체와 철탑의 TOP까지의 거리는 10[m]로 설정하였다.

〈표 2〉 철탑 제원

parameters	value
Rfoot	30[Ω]
Htower	40[m]
Hconductor	30[m]
Dspan	280[m]
Zc_gw	520[Ω]
Zc_tower	135[Ω]

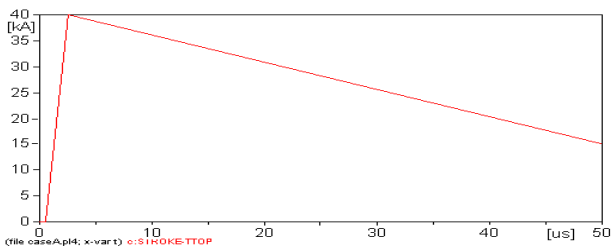
3.2 모의 결과

본 논문에서는 뇌서지 인입위치 및 철탑의 접지저항에 따른 영향을 분석하기 위해 표 2와 같은 모의 조건을 선정하였다.

〈표 3〉 모의 조건

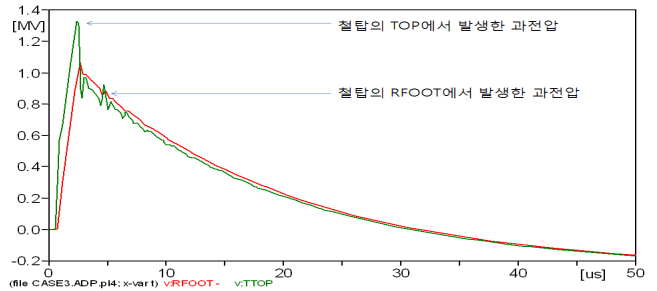
Case	인입위치	접지저항[Ω]
1	철탑의Top 지점	10
2	철탑의Top 지점	20
3	철탑의Top 지점	30
4	철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	10
5	철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	20
6	철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	30
7	철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	10
8	철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	20
9	철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	30

그림 2는 모의에 사용한 뇌서지 전류파형이다. 뇌서지 전류의 특성은 2/40[us], 40[kA] 이고, 2[us]에서 40kA의 값을 가지며, 40[us]에서 20kA의 값을 가지게 모델링 하였다.



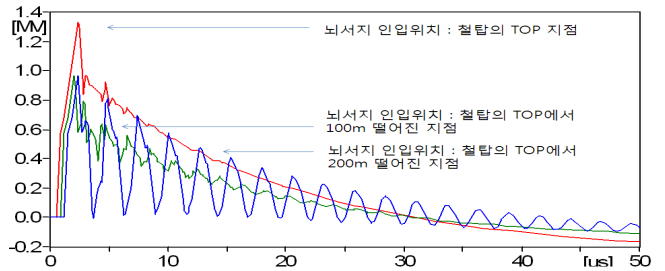
〈그림 2〉 뇌서지 전류파형

그림 3은 철탑의 TOP에서 뇌서지를 인입하고 철탑의 접지저항이 30 [Ω]일 때 철탑의 TOP 지점과 RFOOT 지점에서 발생한 과전압파형이다. 철탑의 TOP 지점은 철탑의 RFOOT지점보다 약 1.3배 큰 과전압이 발생하였다. 철탑의 RFOOT에서 과전압이 작은 원인은 진행파 형태를 가진 뇌서지에 의한 과전압이 선로를 진행하면서 선로 임피던스와 접지 저항에 의해 줄어 든 것이다.



〈그림 3〉 뇌서지 전류파형(Case 3)

그림 4는 뇌서지 인입위치에 따른 과전압을 비교한 파형이다. 발생한 과전압은 철탑의 RFOOT지점에서 관측 하였고, 인입위치가 멀어질수록 발생한 과전압이 작아지는 것을 확인 할 수 있었고, 과전압이 더 빨리 작아지는 것을 확인 하였다.



〈그림 4〉 뇌서지 전류파형 비교(Case 3, Case6, Case9)

〈표 4〉 뇌서지 인입위치에 따른 과전압

인입위치	접지저항[Ω]	과전압크기 [MV]
철탑의Top 지점	10	0.38
철탑의Top 지점	20	0.74
철탑의Top 지점	30	1.07
철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	10	0.25
철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	20	0.48
철탑의Top에서 100[m] 떨어진 지점	30	0.70
철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	10	0.24
철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	20	0.47
철탑의Top에서 200[m] 떨어진 지점	30	0.67

표 4는 뇌서지 인입위치에 따른 과전압을 정리한 것이다. 뇌서지에 의한 과전압은 측정위치에 관계없이 철탑의 TOP지점에 뇌서지가 인입 되었을 때 더 큰 과전압이 발생 하였으며, 접지저항 값이 클수록, 과전압의 크기가 큰 것을 확인 하였다.

4. 결 론

뇌서지가 송전선로 및 철탑에 인입되면 계통의 절연이 파괴되어 섬락을 일으킬 수 있다. 이러한 섬락은 계통의 안정적인 운영을 방해하며 각종 보호 기기들의 오동작도 일으킬 수 있다. 따라서 뇌서지에 대한 분석은 절연 설계의 목적 및 계통의 운영에 있어서 아주 중요하다. 본 논문에서는 뇌서지 현상에 대한 이해 및 분석을 위해 EMTP를 이용하여 철탑 및 송전선로를 모델링하였으며, 뇌서지 인입 위치와 철탑의 접지저항에 따른 과전압을 모의 분석 하였다. 철탑의 접지 저항이 작고, 뇌서지 인입위치가 멀어 질수록 과전압이 작아지는 경향을 보였다. 추후 뇌서지 현상의 더 자세한 분석 및 이해를 위해 파괴기설치 및 뇌서지 인입 시점에 대한 논의도 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Electromagnetic Transient Program (EMTP), Revised Rule Book Version 2.0, Volume 1; Main Program, June 1989.
- [2] Xuzhu Dong, Sebastian Rosado, Yilu Liu, Nien-Chung Wang, E-Leny line, Tzong-Yih Guo, "Study of Abnormal Electrical Phenomena Effects on GSU Transformer", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No 3. pp. 835-842, July, 2003.