

발전기 및 주변압기 연계 계통의 뇌 서지 영향 분석

박세호*, 여상민*, 서훈철** 김철환*, 유영식***, 조범섭***
 성균관대학교*, 기초전력연구원**, 한국전력거래소***

Analysis of Lightning Surge in Interconnected Systems

*S. H. Park, *S. M. Yeo, **H. C. Seo, *C. H. Kim, ***Y. S. Yoo, ***B. S. Cho
 *Sungkyunkwan University, **KESRI, ***KPX

Abstract - 전력계통에서 과전압이 발생할 경우 보호 장치들의 트립이 발생하거나 기기들의 영구적인 손상을 가져 올 수 있다. 특히 낙뢰에 의한 뇌 서지는 여러 과전압 중 가장 큰 크기를 가지며, 절연 설계 등에 대해 매우 중요한 현상이다. 특히, 발전기 및 주변압기가 연계된 계통에서의 뇌 서지는 과전압의 위치 선정, 각종 제어 회로에의 영향 등의 관점에서 검토되어야 할 대상이다. 본 논문에서는 과도해석 프로그램인 EMTP-RV를 이용하여 발전소 및 주변압기 연계 계통을 모델링하고, 낙뢰에 의한 과전압이 송전선로에 발생하였을 때 발전기 및 주변압기 연계 계통에서 어떻게 영향을 미치는지 모의하고 분석하였다.

1. 서 론

가공 송전선로는 자연환경 및 기후에 직접적으로 노출되어 있기 때문에 외부로부터 침입하는 뇌 서지에 의한 고장이 대부분을 차지하고 있다. 따라서 효율적이고 안정적인 전력 공급을 위해서 뇌 서지에 의한 과도현상을 다 방면으로 모의하고 분석 할 필요성이 요구된다. 이러한 뇌 서지는 송전선로뿐만 아니라 변전소, 발전소 등에도 영향을 주게 되며, 이것은 각각의 절연 설계 측면에 있어서 매우 중요한 사실이다. 따라서 변전소 또는 발전소 등에 대한 뇌 서지의 영향 분석은 중요하다. 따라서 본 논문에서는 과도해석 프로그램인 EMTP-RV를 이용하여 발전소 및 주변압기 연계 계통을 모델링하고, 낙뢰에 의한 과전압이 송전선로에 발생하였을 때 발전기 및 주변압기 연계 계통에서 어떻게 영향을 미치는지 모의하고 분석하였다.

2. 뇌 서지

2.1 뇌 서지의 특성

소나기 등의 큰물방울(+)전하)은 대지로 떨어지고 뇌운은 대부분(-)전하로 충전된다. 따라서 대지는 상대적으로(-)전하를 가지게 되고 이러한 충전된(-)전하는 뇌운들 사이에서 충돌을 일으키게 된다. 이때 새로운(-)전하의 생성으로 강한 전기장이 생성되어 뇌운 내에서 방전을 시작하고 지표면에 도달 할 때 뇌 서지 가 발생한다. 이러한 뇌 서지는 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(전력선 사이의 방전)

2.2 직격 뇌에 의한 서지

뇌운으로부터 발생된 낙뢰가 직접 송배전선이나 가공지선 혹은 첩탑에 맞아서 생기는 서지로서 송배전선이 직격 뇌를 받으면 대부분의 경우, 지지애자가 섬락하고 그 섬락 전압에 의한 진해파가 선로를 진행한다. 가공지선 또는, 첩탑에 낙뢰가 맞으면 첩탑을 통해 직접 대지로 뇌격전류가 흐르는데 첩탑의 첩탑 임피던스에 의해 첩탑이 전위가 상승하고, 지지애자에 역섬락을 일으켜 송배전선에 서지가 침입한다.

2.3 유도 뇌에 의한 서지

뇌운 상호간 혹은 뇌운과 대지 사이에 방전이 있는 경우 근접해 있는 송전선에 유도에 의한 이상 전압을 일으키는 현상을 말하며 대부분 200~300kV의 크기를 가지며 파두장을 20~30us, 파미장을 200~500us 정도로 하는 완만한 파형을 가진다.

2.4 역섬락

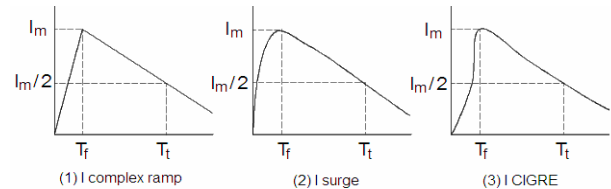
첩탑이나 차폐선을 칠 때 역섬락은 발생하고, 결과로 발생한 첩탑 꼭대기의 전압은 첩탑으로부터 상 도체로의 선로 절연의 섬락을 발생하는데 충분히 큰 전압이다. 역섬락에 의한 서지는 매우 경사가 높은 파형을 만들어내고 변전소 설계에서 역섬락을 고려하여 인입 선로의 차폐선이

나 인근의 첩탑을 치는 것으로 가정한다. 20kA~200kA의 크기를 가지며, 최대 전류 기울기는 20kA에서의 약 20kA/us 로부터 200kA에서의 48kA/us 범위이다.

2.5 EMTP-RV를 이용한 뇌 서지 모델링

뇌 서지는 일반적으로 전류원을 사용하여 모델링하며 EMTP-RV에서 제공하는 뇌 서지를 위한 전류원은 다음 그림 1과 같이 세 가지의 모델이 제공된다[1].

- ① I complex ramp(ramp 파형을 사용)
- ② I surge(2개의 지수 함수를 사용)
- ③ I CIGRE(뇌 전류 모양을 근사화하여 모델링)



<그림 1> EMTP-RV에서 사용 가능한 뇌 서지 모델

①과②는 단상과 3상 모두 사용할 수 있지만 ③은 단상에서만 사용이 가능하다. 다음 표 1은 각 뇌 서지 전류원을 비교한 것이다.

<표 1> 뇌 서지 전류원의 비교

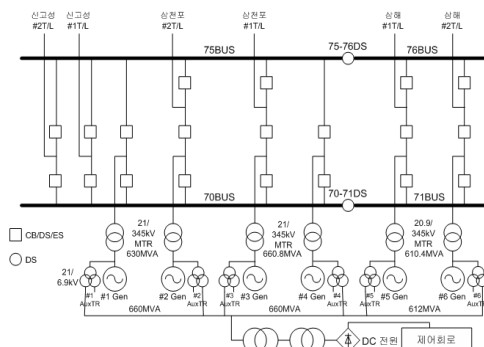
종류	장점	단점
I complex	사용하기 간단	단순한 모델로 정확한 모델링은 어려움
I surge	I complex 전류원보다 정확	수치적 불안정이 존재함->수치진동발생
I CIGRE	뇌 서지에 대한 정확한 모델링 가능	단상에서만 사용가능

따라서 본 논문에서는 단상과 3상 모두 사용할 수 있고 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 I surge 모델을 이용하여 대상계통을 모의하였다.

3. 모의 및 결과

3.1 대상 계통

본 논문에서는 발전기 및 주변압기 연계 계통에 대한 뇌 서지 영향 분석을 위해 삼천포 화력발전소를 모델링하였다. 다음 그림 2는 삼천포 화력발전소의 단선도이다.

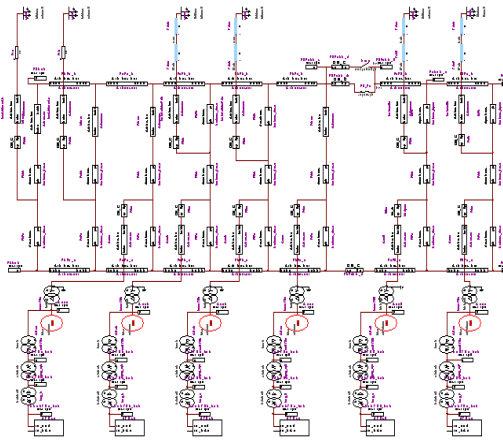


<그림 2> 삼천포 화력발전소 단선도

3.2 EMTP-RV 모델링

다음 그림 3은 삼천포 화력발전소를 EMTP-RV를 사용하여 모델링한 것이다. 모델 계통은 크게 4가지 부분으로 구분할 수 있다.

①송전선로, ②GIS, ③발전기/주변압기, ④DC 전원 및 제어회로



<그림 3> EMTP-RV로 모델링한 모델 계통

다음 표 2는 모델 계통에서의 발전기와 주변압기의 설비 정수를 정리한 것이다. 발전기는 동기 발전기 모델을 사용하여 모델링하였으며, 주변압기는 Δ-Y 결선의 3상 변압기를 적용하였다. #5 발전기는 운휴중이다.

<표 2> 삼천포 화력 발전소 설비 정수

발전기 정수			
호기	단자전압(kV)	용량(MVA)	관성정수(kW×sec/kVA)
#1,2	22	660	3.141
#3,4	22	660	3.14
#5,6	22	612	3.4
변압기 정수			
Bank번호	정격전압(kV)	용량(MVA)	임피던스(pu)
#1,2	21/345	630	0.1377
#3,4	21/345	660.8	0.1361
#5,6	20.9/345	610.4	0.1685

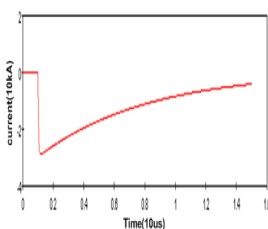
3.3 모의 및 결과

본 논문에서는 뇌 서지의 인입 위치에 따른 영향을 분석하기 위하여 다음 표 3과 같은 모의 조건을 선정하였다.

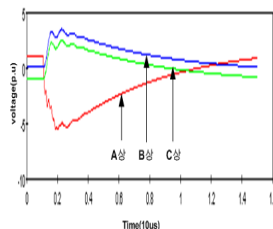
<표 3> 모의 조건

	선로	뇌 서지 특성
case1	삼해 #1, 2	1.2/50us, 30kA
case2	삼천포 #1, 2	
case3	신고성 #1, 2	

뇌 서지 특성은 역섬락 모의에서 많이 사용되는 뇌 서지 전류의 값을 적용하였다[2]. 전체 모의 시간은 150us이며 10us에 다음 그림 4에서 보는 것과 같은 뇌 서지를 투입하였다. 또한 뇌 서지는 A상 선로에 인입된 것을 가정하였다. 다음 그림 5는 삼천포 #1 T/L에 뇌 서지가 발생한 경우의 70BUS에서의 전압 파형이다. 그림 5로부터 선로에 인입된 뇌 서지에 의한 과전압이 나타난 것을 확인할 수 있다.

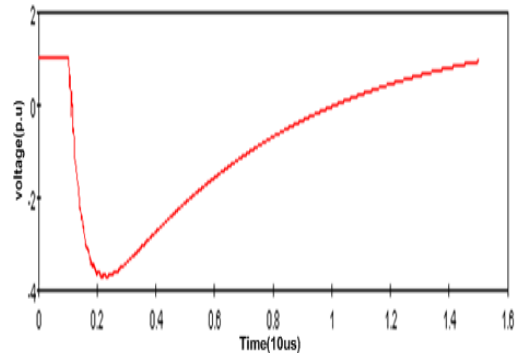


<그림 4> 뇌 서지 전류파형



<그림 5> 70BUS 과전압

다음 그림 6은 #1 발전기에서의 단자 전압 파형이다. 삼천포 #1 T/L에서의 뇌 서지에 의한 영향으로 #1 발전기에서 과전압이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이때 #1 발전기는 음의 큰 과전압을 가지며 과전압의 최대 크기는 -3.74pu이다.



<그림 6> #1 발전기 과전압

다음 표 4는 투입 선로 길이에 따른 70BUS, 71BUS 및 각 발전기 지점에서의 최대 과전압을 정리한 것이다. 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 모선에서는 매우 큰 과전압이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 뇌 서지가 주변압기를 통과한 이후인 발전기에서의 전압은 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다. 또한, 발전기에 따라서 서지에 의한 과전압의 크기가 다른 것을 확인하였다.

<표 4> 뇌 서지 발생 위치에 따른 각 위치에서의 과전압

뇌 서지 인입 선로	70BUS(pu)	71BUS(pu)	
삼해#1,2	-5.47788	-5.75970	
삼천포#1,2	-5.46120	-5.60006	
신고성#1,2	-5.65508	-5.65420	
발전기 최대 과전압(pu)			
호기	삼해#1,2	삼천포#1,2	신고성#1,2
#1	-3.74709	-3.74854	-3.66382
#2	-3.72437	-3.74862	-3.68760
#3	-2.77850	-2.77912	-2.75928
#4	-2.70108	-2.77591	-2.75873
#6	-2.57997	-2.55292	-2.55292

4. 결 론

뇌 서지가 발전기 및 주변압기 연계 계통에 인입되면, 주변압기 및 발전기는 물론 각종 보호회로, 제어회로 등에 영향을 줄 수 있다. 이는 절연 설계와는 다른 측면으로, 서지의 임펄스 파형이 각종 회로의 오동작을 발생시킬 수 있는 것이다. 따라서 발전기 및 주변압기 연계 계통에서의 뇌 서지의 영향 분석은 매우 중요하다. 본 논문에서는 전자기 과도현상 해석 프로그램인 EMTP-RV를 사용하여 발전기 및 주변압기 연계 계통과 뇌 서지를 모델링하고, 뇌 서지의 인입 위치에 따른 과전압을 모의 하였다. 계통에 인입된 뇌 서지는 진행파에 의해 전달되며, 발전기, 주변압기, GIS 내의 각종 설비 상태, 배치 등에 의해 영향을 받으며, 각 위치에서 서로 다른 과전압이 발생하는 것을 확인하였다.

본 논문은 뇌 서지의 인입 위치를 변화하여 모의한 것으로, 다양한 뇌 서지의 특성, 각종 차단기/단로기의 상태, 뇌 서지 인입 시점 등에 대한 분석이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] DCG-EMTP(Development coordination group of EMTP) Version EMTP-RV, Electromagnetic Transient Program. Available : <http://www.emtp.com>.
- [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.