

변전소 접지계통 모델링 변화에 따른 과도상태 영향 분석

정채균, 최종기, 이원교, 이동일, 황갑철
한전 전력연구원

Analysis of Power System Transients according to Substation Grounding System Models

Chae-Kyun Jung, Jong-Ki Choi, Won-Kyo Lee, Dong-II Lee, Kab-Cheol Hwang
KEPRI

Abstract - This paper discusses the effect according to the change of grounding system modeling in substation. Substation grounding system is modelled by CDEGS and EMTP. Node voltages of grounding system is variously analysed by 3 grounding cases and 4 kinds of transient frequency ranges. The results of this paper will contribute to advance the grounding system modeling of substation in the range of high frequency transient such as lightning surge.

지선으로 사용되는 4개의 인출선은 #1 - #4 노드로 표시되었으며, 이중 한 노드(#1)로 단위전류가 주입되는 경우 각 노드 전압은 그림 2와 같다.

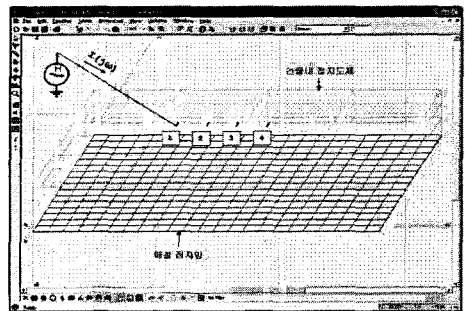
1. 서론

변전소 접지계통은 불평형고장시 접지전위를 허용치 이내로 억제하여 사람과 중요 기기의 보호와 전력계통의 안정적 운영을 위한 기준전위를 제공하는 중요한 역할을 한다[1-3]. 반면 전력계통 고장해석이나 과도상태 해석에 있어서 변전소 접지계통은 0 Ω의 접지저항을 가정하거나 저주파수 대역의 접지저항으로 단순히 표현하는 것이 일반적이다. 이는 상도체의 전압, 전류 해석시 변전소 접지의 영향은 무시할 수 있다는 가정에 근거한 관행이지만, 접지계통 인근 도체의 전압, 전류 해석시에도 이러한 가정이 적절한 것인지는 확인해 볼 필요가 있다고 사료된다. 접지저항은 변전소 접지계통의 성능을 나타내는 가장 대표적인 지수로서 DC나 상용주파수 대역에서의 접지성능을 나타낼 수는 있지만, 낙뢰나 찌지 전류 유입시의 접지성능까지 대표하는 것으로 볼 수는 없다. 이는 낙뢰나 찌지 전류에는 DC나 저주파뿐 아니라 고주파수 성분도 포함되어 있어, 접지도체의 임피던스나 대지의 정전용량 등에 의한 영향을 무시할 수 없기 때문이다[1].

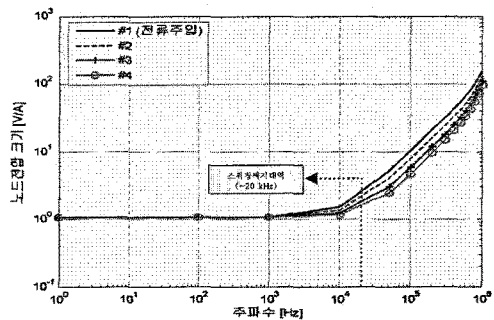
따라서 본 논문에서는 변전소 접지계통을 접지계통 해석 프로그램인 CDEGS(Current Distribution Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure Analysis)를 이용해 접지계통의 주파수 특성을 계산하고 이를 바탕으로 전달함수를 추출하여 EMTP에 적용하는 방식으로 혼합 송전계통을 모델링 하였으며, 다른 주파수 영역에서의 과도현상을 모델하여 각 접지조건에 따라 변전소 접지계통에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 접지계통 모델링

주로 접지계통 해석에 사용되는 여러 프로그램들의 패키지인 CDEGS를 이용하면 충전된 지중 매설도체 및 가공도체의 주파수 특성을 계산할 수 있다. 이를 통해 계산된 주파수 특성은 전달함수로 추출이 가능하며 이 결과를 EMTP의 모델요소로 사용하면 시간영역 해석도 가능해진다. 그림 1과 그림 2는 CDEGS를 이용해 모델링한 변전소 접지계통을 보여준다. 굵은 선으로 표시된 도체는 토양에 매설된 접지도체이며, 그 외 가는 선으로 표시된 도체는 접지 인출선, 접지 모선 및 건물 구조체 등을 표시한 것이고 모두 가공도체이다. 그림 1에서 접



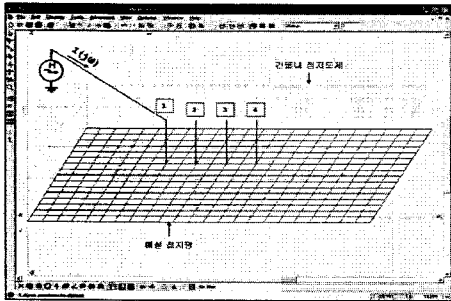
<그림 1> CDEGS를 이용한 변전소 접지망 모델 1



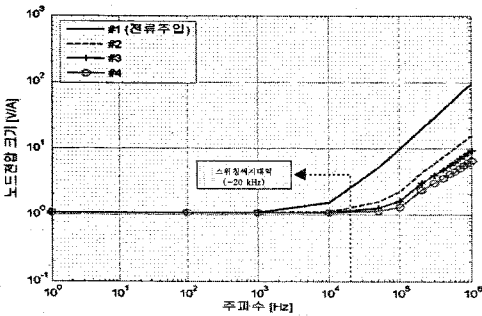
<그림 2> 각 노드 전압(임피던스) 크기 1

그림 3은 접지선 인출방식을 변경한 경우의 모델이다. 즉, 그림 1의 모델에서는 해당 층의 접지 본당선으로부터 접지선을 인출한 경우이나, 그림 3에서는 매설된 접지망으로부터 직접 인출하여 해당 층의 접지점까지 연장하여 쓰는 경우이다. 따라서 그림 3의 경우는 접지 인출선의 길이가 그림 1에 비해 상당히 길어진다. 그림 3의 모델에서 #1 노드에 단위전류를 주입했을 때 각 노드의 전압을 계산한 결과가 그림 4이다. 이 경우에는 #1 노드의 인출선을 따라 전압강하가 생기는 반면 나머지 #2 - #4 노드의 인출선은 개방상태 이므로 전압강하가 생기지 않으며, 따라서 전류를 주입한 노드와 그렇지 않은 노드 간에 전압차가 상대적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 아울러 그림 2와 그림 4에서 볼 수 있듯이 상용주파 대역에서는 큰 차이를 보이지 않으나, 1kHz이상에 전압이 서서히 상승하다가 스위칭주파 대역(2kHz)를 벗어나면서 전압이 급격히 상승됨을 알 수 있다. 또한, 이와 같이

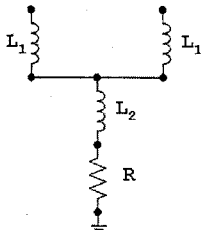
계산된 주파수 영역으로부터 그림 5와 같은 접지 인출선의 등가회로 모델을 구성할 수 있으며 이에 대한 검토 케이스 및 임피던스 값은 표 1과 같다. 표에서처럼 CASE 1과 2는 접지계통의 접지망 및 리드선을 고려한 경우이며, CASE 3는 접지저항만을 고려한 경우이다.



<그림 3> CDEGS를 이용한 변전소 접지망 모델 2



<그림 4> 각 노드 전압(임피던스) 크기 2



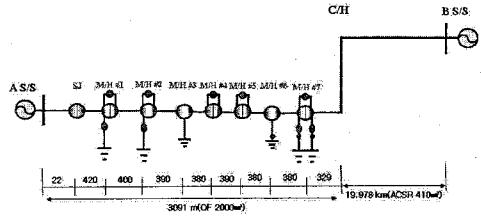
<그림 5> 접지인출선의 등가회로 모델

<표 1> 검토 케이스 및 접지특성

CASE	접지특성	임피던스	비고
CASE 1	접지분당선으로부터 접지선 인출	R : 1Ω L1 : 9.0uH L2 : 7.6uH	접지계통의 접지망 및 리드선 고려
CASE 2	접지망으로부터 직접 인출	R : 1Ω L1 : 14.4uH L2 : 1.3uH	
CASE 3	접지저항	R : 1Ω	

3. 혼합송전선로 모델계통

그림 6은 접지계통 변화에 따른 특성을 분석하기 위한 154kV 설계용 혼합송전선로이다. 모델계통은 케이블 길이가 3.091km이고, 가공선로가 19.978km이며 A S/S 변전소 접지모델은 표 1과 같이 3 CASE로 구성하였다. 또한 주파수 영역에 따른 접지계통의 과도특성 분석을 위해 표 2와 같은 각종 주파수 영역별 과도현상을 설정하여 주파수 대역별 접지선 인입점, 인출점에서 과도특성을 다양하게 분석하였다.

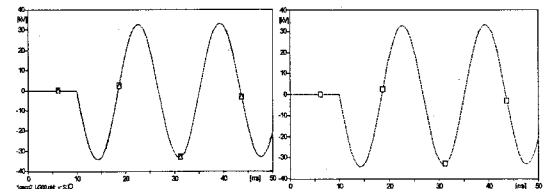


<그림 6> 혼합송전계통 모델

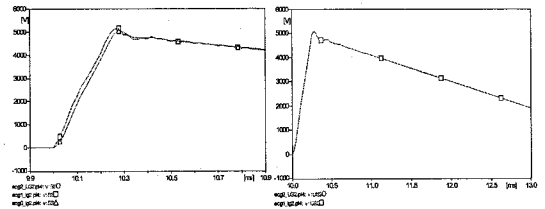
<표 2> 주파수 영역별 과도특성

주파수 영역	과도특성
60Hz	1선지락고장
2kHz	5kA(250/2500μs)
50kHz	30kA(8/20μs)
100kHz	50kA(2/70μs)

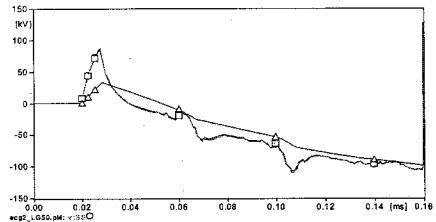
4. 변전소 접지계통 변화에 따른 과도특성



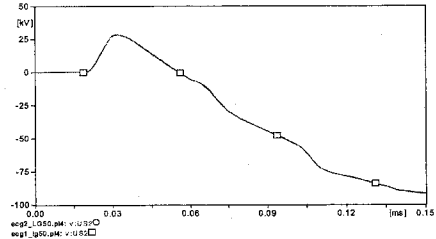
(a) 인입점전압(○:CASE1, □:CASE2, △:CASE3) (b) 인출점전압(○:CASE1, □:CASE2)
<그림 7> CASE별 접지 인출점, 인입점 전압(60Hz)



(a) 인입점전압(○:CASE1, □:CASE2, △:CASE3) (b) 인출점전압(○:CASE1, □:CASE2)
<그림 8> CASE별 접지 인출점, 인입점 전압(2kHz)

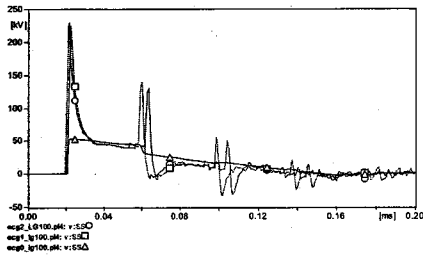


(a) 인입점전압(○:CASE1, □:CASE2, △:CASE3)

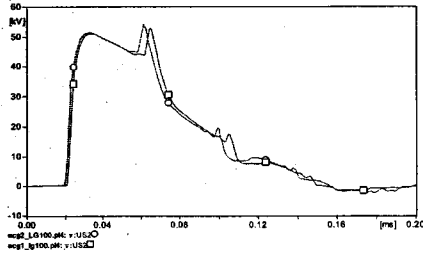


(b) 인출점전압(○:CASE1, □:CASE2)

<그림 9> CASE별 접지 인출점, 인입점 전압(50kHz)



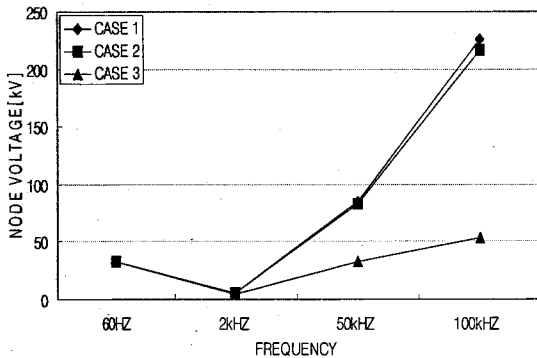
(a) 인입점 전압(○:CASE1, □:CASE2, △:CASE3)



(b) 인출점 전압(○:CASE1, □:CASE2)

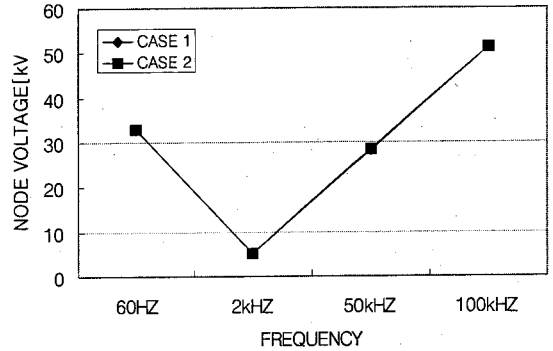
<그림 10> CASE별 접지 인출점, 인입점 전압(100kHz)

그림 7 - 그림 10은 각 케이스별 과도특성에 따른 변전소 접지계통 인출점과 인입점에서의 노드 전압을 나타낸 것이다. 그림 7에서처럼 상용주파고장인 1선지락고장 발생시 각 케이스별 접지 인출점과 인입점에서의 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 2kHz 이상의 과도특성에서는 접지계통의 접지망 및 접지 리드선을 고려한 경우와 접지저항만 고려한 케이스 사이에서 차이가 발생하고 있으며, 주파수가 증가할수록 노드전압의 차이 또한 커지고 있다. 즉, 접지 인출점 노드전압을 기준으로 2kHz 과도특성에서는 CASE 1, 2와 CASE 3사이의 차이는 0.12kV인 반면 50kHz에서는 52kV, 100kHz에는 163kV로 주파수 증가에 따라 그 차이는 더욱 커진다. 그림 11에서는 변전소 접지계통 인입점에서 주파수영역별 과도특성을 케이스별로 비교하여 나타내었다. 그림에서처럼 주파수 영역이 낮은 2kHz이하에서는 케이스별 차이가 크게 나타나지 않으나 주파수 영역이 높아질수록 케이스별 노드전압 차이는 커지고 있다. 따라서 개폐서지 영역 이상의 과도현상, 즉 뇌서지 등의 과도특성을 고려할 경우에는 변전소 접지방식을 단순 저항접지가 아닌 접지망 및 접지 리드선을 고려한 모델링 방식이 적용 되어야 할 것으로 사료된다.



<그림 11> 주파수영역별 과도특성에 따른 접지 인입점 전압비교

또한 그림 12에서처럼 접지계통의 접지망 및 리드선을 고려한 경우에 접지 본딩선으로부터 접지선을 직접 인출한 경우나 접지망으로부터 직접 인출하여 접지점을 연장하여 쓰는 경우에는 주파수 영역별 과도현상에 의한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 다회선 선로를 고려할 경우 인접선로 사고에 의한 파급 영향 등에는 접지선 인출방식에 따라 차이가 발생할 수 있을 것으로 예상된다.



<그림 12> 주파수영역별 과도특성에 따른 접지 인출점 전압비교

5. 결 론

본 논문에서는 변전소 접지계통 모델링 변화에 따른 영향을 분석하였으며 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 변전소 접지망에서 접지선 인출방식에 따라 접지망 및 접지 리드선을 고려한 CDEGS의 모델링 결과를 EMTP와 연계하여 변전소 접지계통을 모델링 하였으며, 이를 주파수 영역별 과도현상에 따라 단순 접지저항만을 고려한 케이스와 비교하여 검토하였다.
- 2) 변전소 접지계통에서 접지 인입점을 기준으로 접지망 및 접지 리드선을 고려한 경우 2kHz 이하의 상용주파 영역 및 개폐서지 영역에서는 접지저항만을 고려한 경우와 비교하여 큰 차이가 없었으나, 2kHz 이상의 주파수 영역에서 발생하는 과도현상의 경우는 접지선 인출방식 변화에 관계없이 주파수에 비례하여 차이가 증가한다.
- 3) 따라서, 2kHz이하 개폐서지나 상용주파 고장의 경우는 단순 접지저항만으로 모델링이 가능하나, 낙뢰와 같은 고주파수 영역의 과도현상을 모델링할 때는 주파수 영역에 따라 접지도체의 임피던스 특성을 고려할 수 있는 접지 모델링 방식을 채택해야 할 것으로 사료된다.
- 4) 접지선 인출방식 변화에 따른 영향분석에서 주파수 영역별 과도현상에 의한 차이는 크게 나타나지 않았으나, 이는 다회선 선로를 고려할 경우 인접선로 사고에 의한 파급영향 분석에는 영향을 미칠 것으로 예상됨에 따라 향후 지속적인 연구를 통해 규명할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] KEPRI Technical Report, "운전중인 변전소의 접지계통 진단기술 개발 연구(최종보고서), 2002. 4
- [2] 변전설계기준 - 2602 접지계설계지침, 한국전력공사, 1984
- [3] KEPRI Technical Report, "축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구 보고서, 1998