

Sh.R의 용량 변화에 따른 시송전 계통 초기 가압시 과전압 분석에 관한 연구

여상민*, 유영식**, 주행로**, 조범섭**
 성균관대학교*, 한국전력거래소**

The Analysis of Transient Voltages for Various Capacity of Sh.R during Energizing Transmission Lines

Sang-Min Yeo*, Young-Sik Lyu**, Haeng-Ro Joo**, Burm-Sup Cho**
 Sungkyunkwan University*, Korea Power Exchange**

Abstract - 전력계통에서 고장과 같은 어떤 원인에 의한 전계통 정전 또는 광역정전이 발생하였을 경우, 빠른 시간 내에 다시 전력을 공급하기 위한 조치를 취해야 한다. 그러나 계통의 구성 형태, 부하 조건, 발전기의 종류 등에 의해 계통 복구시 부하 투입에 의한 발전기 응답, 송전선로 가압시 선로 충전용량에 의한 과도현상 등 다양한 형태의 과도현상이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 국내의 시송전 계통에서의 복구절차 수행시 송전선로를 가압할 때 발생하는 과도현상을 분석하였다. EMTP를 사용하여 시송전 계통을 모델링하였으며, 다양한 Sh.R 용량에 따른 과전압을 분석하였다.

문에 상당한 용량성 무효전력이 발생할 수 있으며, 이 경우 해당 계통에 적절한 Sh.R의 용량 선정 및 시송전 절차 수행시 발생하는 각종 과전압에 대한 분석이 선행되어야만 한다[7-8,10].

본 논문에서 적용한 EMTP는 전자계 과도현상 해석 프로그램으로, 전력계통에서 발생하는 과도현상을 해석하기 위한 프로그램이다. EMTP는 전력계통에서 발생하는 전반적인 현상에 대한 해석이 가능하며, 특히 과도현상 해석에 특화되어 있는 프로그램이다. 따라서, 전력계통에서 발생한 고장에 대한 해석이나 낙뢰 해석과 같은 분야에서 널리 사용되고 있다. 최근에는 발전기 동특성 해석이나 안정도 해석과 같은 분야에서도 EMTP가 활용되는 사례가 많이 발표되고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 EMTP를 사용하여 국내 시송전 계통을 모델링하고, Sh.R 용량에 따른 시송전 계통 초기 가압 모의를 수행하였다.

1. 서 론

국내 전체의 전력계통은 매우 신뢰성 있게 운전되고 있으며, 각종 외란에도 매우 강인하게 응동하도록 구성되어 있다. 그러나 낙뢰, 수목 등의 송전선 접촉, 각종 설비의 노후 등에 의한 사고는 불가피하다. 또한 최대 부하시 고장 발생 및 고장 파급에 의한 극심한 부하-발전의 불균형이 발생하게 될 경우 계통 붕괴로 이어질 수 있다. 이러한 각종 사고 및 고장 상황에 대한 신속한 판단과 정전 구역에 대한 신뢰성 있는 신속한 복구는 매우 중요하다.

이러한 광역정전 또는 정전전의 초기 복구 과정의 초기 단계인 시송전 계통의 송전선로 가압은 전체 복구 과정 중 매우 중요한 단계이다. 시송전 계통의 가압에는 다수의 고압 송전선로 및 변압기 등의 가압이 수반되어 과전압 문제를 포함하여 다양한 종류의 고려사항이 존재한다. 특히 초고압 송전선로의 커패시턴스 성분에 의한 페란티 효과, 변압기의 인덕턴스 성분 등에 의한 고조파 공진, 개폐 과전압 등의 과전압은 혼하게 발생하는 과도현상이다. 이와 같은 다양한 과전압을 분류하면 크게 정상과전압, 과도과전압, 동적과전압으로 구분할 수 있는데 각 과전압에 따라 발생 원인 및 지속시간, 각 설비에의 영향들이 서로 다르므로 사전에 계통에서 발생할 수 있는 각 과전압에 대한 모의 및 분석이 필요하다[1-6].

Sh.R은 전력계통에서 발생한 용량성 무효전력을 보상하는 조상설비의 일종으로, 유도성 무효전력을 공급함으로써 용량성 무효전력을 보상한다. 시송전 계통의 초기 가압시에는 상기에 기술한 바와 같이 송전선로의 커패시턴스 성분이 여러 영향을 미치며, 계통에 용량성 무효전력을 공급하는 역할을 한다. 따라서, 적절한 무효전력량 조절과 함께 용량성 무효전력에 의한 페란티 효과 등을 억제하기 위해서는 Sh.R과 같은 조상설비를 설치하고 운영해야 한다. 이에 앞서 Sh.R이 계통에 미치는 영향 및 적절한 Sh.R의 용량 선정 등을 위해서는 전력계통 해석 도구를 활용하여 다각적인 모의를 통해 분석해야 한다[7-9].

특히 시송전 계통에서는 매우 작은 부하만이 연결된 상태로, 즉 거의 무부하 상태로 송전선로를 가압하기 때

2. 시송전 계통 초기 가압

2.1 시송전 계통 초기 가압시 과도 현상

시송전 계통을 초기 가압할 때 발생하는 과전압은 크게 다음의 세 가지로 구별할 수 있다[1-5].

(1) 정상과전압

송전선로가 가압될 경우, 송전선로에 존재하는 용량성 충전용량은 용량성 무효전력을 발생시키고, 발전기는 해당 무효전력을 흡수하게 된다. 이때 발생된 무효전력을 발전기가 모두 흡수할 수 있는지 여부를 고려하는 것은 매우 중요한 요인 중 하나이다. 또한 일반적으로 발생하는 정상과전압은 계통 보호 및 안정도에 있어 크게 문제 될 정도는 아니지만, 경우에 따라 불평형 전압을 만들어 낼 가능성이 있다. 이 경우 계전기의 오동작 또는 부하에 악영향을 미칠 수도 있다.

(2) 과도과전압

시송전 계통 초기 가압시 필연적으로 발생하는 각종 차단기 개폐 조작은 개폐과전압과 같은 상당한 과도과전압을 발생시킨다. 초고압 송전선로에서의 가압이나 케이블 송전선로 등의 경우 피뢰기 고장 또는 각종 장비의 손상을 초래할 수 있다.

(3) 동적과전압

시송전 계통 가압시 송전선로의 충전용량과 전원 및 변압기의 인덕턴스 성분에 의한 고조파 공진 등의 현상이 발생할 수 있다. 또한 변압기 여자 돌입도 동적 과전압에 속한다. 일반적으로 동적 과전압은 과도과전압보다는 긴 지속시간을 갖는다. 이러한 동적과전압은 상당한 고조파를 발생시키며, 경우에 따라, 변압기의 과여자에 의한 손상을 가져올 수 있다.

2.2 OO지역 주 시송전 계통[7-8]

다음 그림 1은 OO지역 주 시송전 계통의 단선도이며, 다음 그림 2는 단선도에 표시된 각종 기호에 대한 범례를 보이고 있다.

그림 1과 그림 2에서 보인 바와 같이 S P/P #1호가 자체기동발전기로 지정되어 있으며, K C/C가 우선 공급발전소로 지정되어 있다.

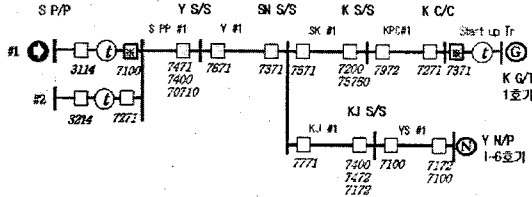


그림 1. OO지역 주 시송전 계통

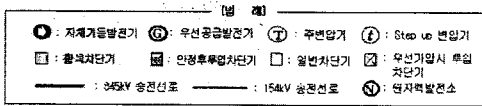


그림 2. 단선도의 각종 기호에 대한 범례

기본적인 복구 절차는 자체기동발전기를 기동하여 발전을 시작한 후, 안정적인 기동이 완료되면 안정 후 투입 차단기를 투입하여 시송전 계통의 송전선로를 가압하고, 우선공급발전소에 기동전력을 공급하게 된다.

다음 표 1은 OO지역 시송전 절차를 기준으로 작성한 모의 시나리오이다. 본 논문에서는 무효전력 보상용 Sh.R의 용량에 따른 시송전 선로 초기 가압시 발생하는 과전압을 분석하였다.

표 1. 복구 모의 시나리오

시간 (sec)	내용	비고
0.0	자체기동 발전기 가압 스텝업 변압기 가압 및 자체 부하 전력 공급 (K S/S Sh.R 30MVar 투입)	최대발전력 350MW 자체부하: 발전력의 5% pf=0.98
3.0	S P/P #1T/L 가압	
5.0	Y S/S 이후 시송전 선로 가압	
15.0	K C/C G/T #1 기동전력 공급	5MVA
30.0	Y N/P 소내전력 공급	30MVA
50.0	시뮬레이션 종료	

3. 시뮬레이션 및 결과

3.1 시뮬레이션 구성

다음 그림 3은 그림 1의 OO지역 주 시송전 계통을 EMTP로 모델링한 것이다.

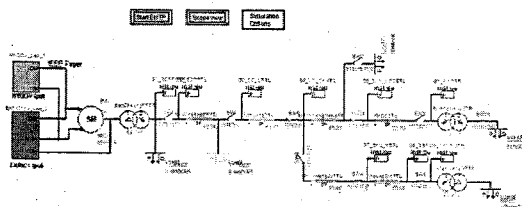


그림 3. EMTP로 모델링한 OO지역 주 시송전 계통

그림 3에 보인 바와 같이 좌측의 S P/P의 발전기는 HYGOV 모델의 조속기와 EXPIC1 모델의 여자기로 제어하도록 구성하였으며, 그림 1에서 보인 계통도와 동일한 형태로 구성하였다.

3.2 모의 조건

본 논문에서 적용한 모델 계통에 대한 복구절차는 시송전 계통 초기 가압시 발생하는 용량성 무효전력을 보상하기 위하여 30MVar의 Sh.R을 투입하도록 지정되어 있다. 따라서 본 논문에서는 앞서 언급한 세 과전압에 대한 모의 조건 외에도 Sh.R의 용량 변화에 따른 과전압을 모의하였다. Sh.R의 용량은 10MVar, 20MVar, 25MVar, 30MVar, 40MVar로 총 5가지의 경우를 적용하였다.

3.3 Sh.R 용량에 따른 과전압 모의

무효전력 보상용으로 추가된 Sh.R의 용량 변화에 따른 각 과전압의 모의 결과이다. 다음 그림 4는 Sh.R 용량에 따른 발전기 단자전압의 변화이다.

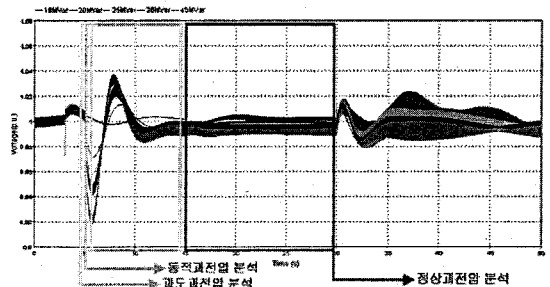


그림 4. Sh.R 용량에 따른 발전기 단자전압

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 Sh.R의 용량이 10MVar 이상인 경우 모두 정상적으로 시송전 계통 가압이 수행되는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4에 표시한 것과 같이 정상과전압, 과도과전압 및 동적과전압에 대해 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 정상과전압

다음 그림 5는 정상과전압을 분석한 것이다. 그림에서 표시한 바와 같이 Sh.R의 용량이 커질수록, 즉 다시 말해 유도성 무효전력이 커질수록 발전기 단자전압의 크기는 감소하는 것을 알 수 있다.

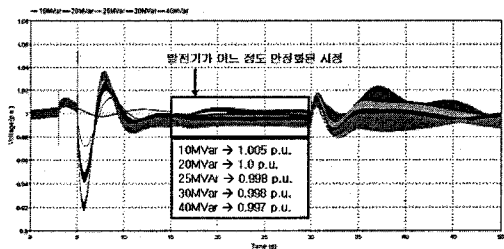


그림 5. Sh.R 용량에 따른 정상과전압

(2) 과도과전압

다음 그림 6은 Sh.R 용량에 따른 시송전 선로 투입 순간의 과도과전압을 보이고 있다. 그림 14에서 볼 수 있는 바와 같이 과도과전압의 크기는 정상과전압과는 반대로 Sh.R의 용량이 작을수록, 즉 유도성 무효전력이 작을수록 커지는 것을 알 수 있으며 약 1.5pu의 크기에 달하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 Sh.R 용량에 따라 시송전 계통의 초기 가압시 발생하는 과전압의 변화를 모의하고 분석하였다. Sh.R의 용량에 따라 정상과전압이 감소하는 것을 확인하였으며, Sh.R의 용량이 클수록 과도과전압의 크기 또한 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 동적과전압의 경우 Sh.R의 용량이 커질수록 오히려 큰 값으로 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 송전선로가 가압될 때 갑자기 큰 용량의 Sh.R이 연결됨에 따른 발전기의 응답으로 볼 수 있다. 이와 같이 정상과전압과 과도과전압을 저감하기 위해 Sh.R의 용량을 늘리더라도 동적과전압에 영향을 같이 분석해보아야 함을 확인하였다. 또한 기존에는 시송전 계통 초기 가압시의 현상 분석을 PSS/E 등과 같은 정상상태 해석용 도구를 활용하였다. 그러나 시송전 계통 초기 가압시 고조파 공진이나 자기여자 현상, 선로 가압시 발생하는 각종 과도현상 등을 분석하는데 있어 PSS/E는 상당한 한계가 있다. 따라서 EMTP와 같은 과도상태 해석용 도구를 이용하여 분석해야 할 필요가 있으며, 본 논문에서는 EMTP를 이용하여 시송전계통 초기 가압시 발생하는 각종 과도현상을 충분히 분석해낼 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. M. Adibi et al., "Power System Restoration - A Task Force Report", IEEE Trans. on PWRs, Vol.2, No.2, pp.271-277, May 1987.
- [2] M. M. Adibi et al., "Overvoltage Control During Restoration", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 7, No. 4, pp. 1464-1470, November 1992.
- [3] Abbas Ketabi, Ali Mohammad Ranjbar, René Feuillet, "Analysis and control of temporary overvoltages for automated restoration planning", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, Oct. 2002.
- [4] M. M. Adibi, J. N. Borkoski, R. J. Kafka, "Analytical tool requirements for power system restoration", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 3, Aug., 1994.
- [5] T. S. Sidhu, D. A. Tziouvaras, A. P. Apostolov, C. H. Castro, S. R. Chano, S. H. Horowitz, W. O. Kennedy, Sungsoo Kim, R. J. Martilla, P. G. McLaren, G. L. Michel, K. K. Mustaphi, P. Mysore, M. Nagpal, B. Nelson, F. P. Phumtre, M. S. Sachdev, J. S. Thorp, and J. T. Uchiyama, "Protection issues during system restoration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, Jan., 2005.
- [6] 여상민, 김철환, 유영식, 주행로, 조범섭, "EMTP를 이용한 시송전 계통의 송전선로 초기 가압시 과도현상 분석에 관한 연구", 2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2008. 7.
- [7] "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구", 최종보고서, 한국전력거래소, 2003.
- [8] "전계통 정전시 복구계획", 한국전력거래소, 2007. 11.
- [9] 이흥재, 이경섭, "시송전계통의 고조파 공진현상에 대한 분석", 대한전기학회 논문지, 제55A권, 5호, pp.191-194, 2006. 5.
- [10] 이흥재, 이경섭, 박성민, 송인준, 이남호, 배추천, 황봉환, "EMTDC를 이용한 시송전계통의 고조파 공진 분석", 대한전기학회 논문지, 제54A권, 4호, pp. 172-176, 2005. 4.

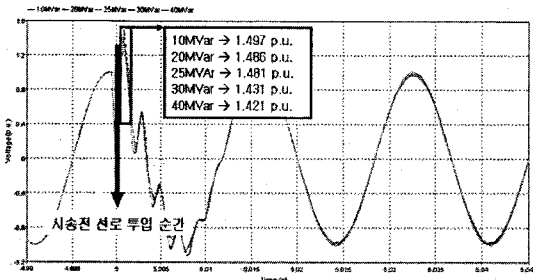


그림 6. Sh.R 용량에 따른 과도과전압

(3) 동적과전압

다음 그림 7, 표 2은 Sh.R 용량에 따른 동적과전압을 나타낸 것이다. 그림 7 및 표 2에서 보인 결과와 같이 Sh.R의 용량이 작을수록 Sh.R 변화에 따른 동적과전압의 크기는 작은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 다음 그림 8의 무효전력의 변화를 통해 쉽게 그 원인을 찾을 수 있다. 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 10MVar의 Sh.R이 투입된 경우 계통의 무효전력량은 거의 0MVar에 가깝게 유지되고 있다. 반면 Sh.R의 용량이 커질수록 시송전 계통 투입시 계통의 무효전력량의 변화가 큰 것을 알 수 있으며 이에 따른 발전기 응답의 결과가 동적과전압의 크기로 나타난 것이다.

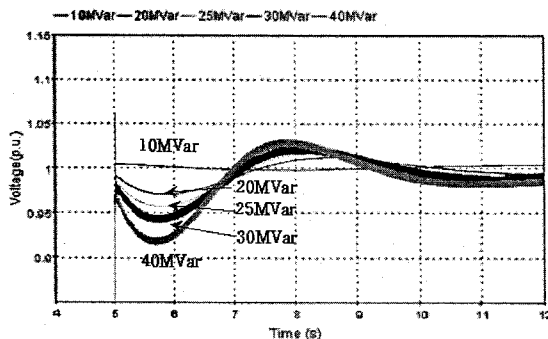


그림 7. Sh.R 용량에 따른 동적과전압

표 2. Sh.R 용량에 따른 동적과전압의 크기

Sh.R 용량	모선 전압(p.u.)		
	최소값	최대값	변동폭
10MVar	0.997	1.004	0.007
20MVar	0.97	1.012	0.042
25MVar	0.956	1.019	0.061
30MVar	0.939	1.025	0.086
40MVar	0.913	1.033	0.120

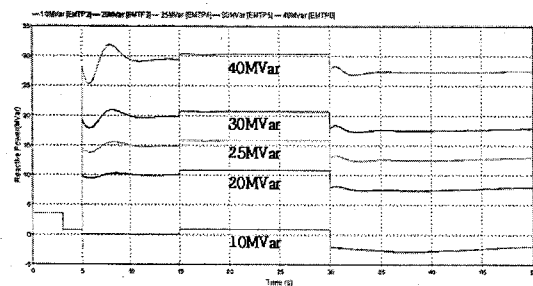


그림 8. Sh.R 용량에 따른 무효전력의 변화