

EMTP를 이용한 시송전 계통의 송전선로 초기 가압시 과도현상 분석에 관한 연구

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

Analysis of the Transients during Energizing Transmission Lines using EMTP

Sang-Min Yeo*, Chul-Hwan Kim*, 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, 선로 가압에 의한 과도현상을 분석하였다.

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 과급에 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.

그러나 정전시 초기 복구 과정의 초기 단계인 시송전 계통의 송전선로 가압은 고압 송전선로의 커패시턴스 성분, 변압기의 인덕턴스 성분 등에 의한 고조파 공진, 페란티 효과, 계개 과전압 등의 과도현상을 발생시킨다. 따라서, 이와 같은 전계통 정전 또는 광역정전이 발생하기 이전에 미리 계통을 해석하고, 시송전 계통의 가압시 발생할 수 있는 다양한 과도 현상을 분석하는 것은 매우 중요하다[1-3].

따라서, 본 논문에서는 국내 시송전 계통을 전자기과도현상 해석 프로그램인 EMTP를 사용하여 모델링하였으며, 정해진 복구절차를 기준으로 발생할 수 있는 과전압을 분석하였다.

2. 국내 시송전 계통[1]

2.1 시송전 계통 복구 계획

국내 시송전 계통은 크게 7개의 지역으로 구분되어 있으며, 각 지역별 복구를 수행하고, 지역별 복구가 완료되면 지역간 연계를 수행하여 전계통을 복구하게 된다.

각 지역별로 주 시송전 계통과 예비 시송전 계통의 이중화된 계통이 지정되어 있어 주 시송전 계통의 가압이 실패할 경우 예비 시송전 계통을 통해 복구할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 시송전 선로 선정시 수전단 전압 상승을 방지하고 신속한 복구를 위해 시송전 선로의 거리 및 시송전 선로 내의 변전소를 최소화하도록 구성되어 있다.

이러한 시송전 계통의 복구 목표 시간은 다음과 같다.

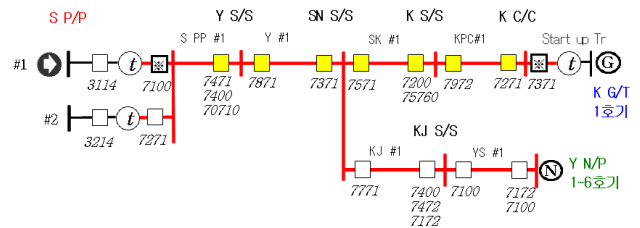
- 복구 지시 후 각 지역별 우선공급 발전기 병입 : 2시간 이내
- 정전복구 지시후 전 발전소 기동전력 공급 : 4시간 이내
- 복구 지시 후 전체 부하의 80% 공급 : 24시간 이내

이와 같은 시송전 계통 중 본 논문에서는 OO지역의 주 시송전 계통인 S P/P로부터 K C/C까지의 계통을 모델 계통으로 하였으며, 모델 계통에서 복구 수행시 발생하는 과도 현상을 모의하고 분석하였다.

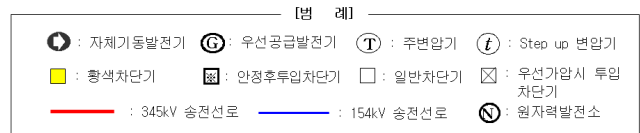
2.2 OO지역 주 시송전 계통

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

그림 2에서 보인 바와 같이 S P/P #1호가 자체기동발전기로 지정되어 있으며, K C/C가 우선공급발전소로 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 주 시송전 계통에 대한 복구 절차이다.

〈표 1〉 OO지역 주 시송전 계통의 복구 절차

구분	단계	복구 절차	비고
주 선 로	1	<ul style="list-style-type: none"> ○ S P/P #1 기동 및 소내 가압 ○ 필요시 잔여 호기 추가 기동 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최대 발전력: 700MW ○ 발전기 단자전압 유지범위: 정격의 95%
	2	<ul style="list-style-type: none"> ○ 345kV K S/S Sh.R 30MVar (#1M.Tr측) 투입 ○ 시송전선로 가압 <ul style="list-style-type: none"> - 345kV S P/P 7100 차단기 투입 - K C/C G/T #1 기동전력 공급 - 345kV K C/C 7371 차단기 투입 ○ 기동전력 공급 후 S P/P 발전기 전압 조정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ K C/C G/T#1 기동을 원칙으로 하되, 운전여건에 따라 타 G/T 우선기동 가능
	3	<ul style="list-style-type: none"> ○ K C/C 잔여 G/T 기동전력 공급 ○ 발전기 안정운전에 필요한 부하 공급 ○ 우선공급부하인 Y N/P 소내전력 공급 ○ 안정후공급발전소 기동전력 공급 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 우선공급부하 <ul style="list-style-type: none"> · Y N/P #1~6 소내 ○ 주 시송전계통을 활용하여 OO지역 복구

다음 표 2는 표 1을 기준으로 설정한 모의 시나리오이다. 본 논문에서는 무효전력 보상용 Sh.R의 유무에 따른 시송전 선로 초기 가압시 발생하는 과도현상을 분석하였다.

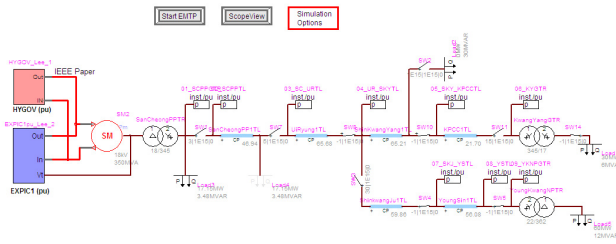
〈표 2〉 복구 모의 시나리오

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 2의 OO지역 주 시송전 계통을 EMTP로 모델링한 것이다.



〈그림 3〉 EMTP로 모델링한 OO지역 주 시송전 계통

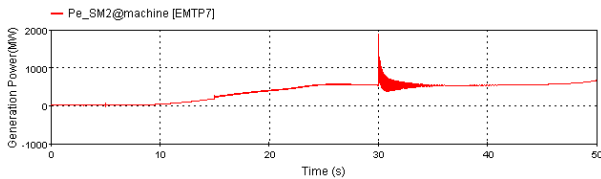
그림 3에 보인 바와 같이 좌측의 S/P/P의 발전기는 HYGOV 모델의 조속기와 EXPIC1 모델의 여자기로 제어하도록 구성하였으며, 그림 2에서 보인 계통도와 동일한 형태로 구성하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

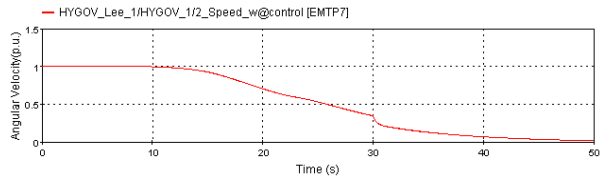
앞서 언급한 바와 같이 본 논문에서는 K S/S에 설치된 Sh.R이 투입된 경우와 투입되지 않은 경우에 대하여 시송전 선로 가압시 발생하는 과도현상을 분석하였다.

3.2.1 Sh.R을 투입하지 않은 경우

다음 그림 4는 Sh.R이 투입되지 않은 경우의 S/P/P #1호기의 전력을 나타내고 있다. 그림 4를 통해 계통에 연결된 부하의 양은 수십 MVA임에도 불구하고 실제로 발전기가 공급하는 전력은 매우 크게 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 다음 그림 5는 이때의 발전기 회전 속도를 보이고 있다. 회전 속도가 거의 0로서 정상적인 계통 운전이 불가능한 것을 알 수 있다.

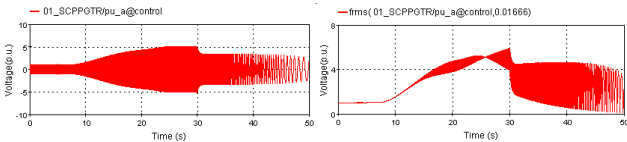


〈그림 4〉 S/P/P #1호기의 공급 전력



〈그림 5〉 S/P/P #1호기의 회전 속도

또한 다음 그림 6은 S/P/P의 단자 전압을 나타낸 것이다.

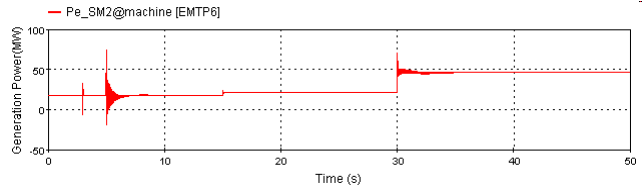


(a) 순시치 (b) 실효치
〈그림 6〉 S/P/P #1호기의 단자전압

발전기의 회전 속도는 거의 0으로 감소하고, 전압과 공급 전력이 매우 크게 증가하는 것을 그림 4~6를 통해 알 수 있으며, 발전기의 손상을 막기 위해서는 적절하게 보호계전기 동작에 의한 발전기 트립이 수반되어야 함을 알 수 있다.

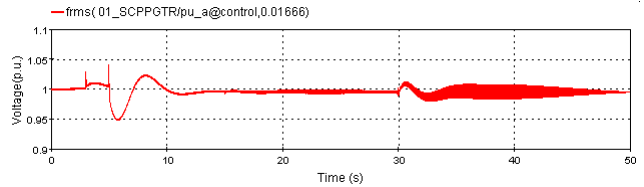
3.2.2 Sh.R을 투입한 경우

다음 그림 7은 Sh.R을 투입한 후 선로를 가압한 경우의 S/P/P #1호기의 공급 전력이다. 실제 시나리오에 따라 투입된 부하의 양과 동일하게 발전기가 전력을 공급하는 것을 알 수 있다.



〈그림 7〉 S/P/P #1호기의 공급 전력

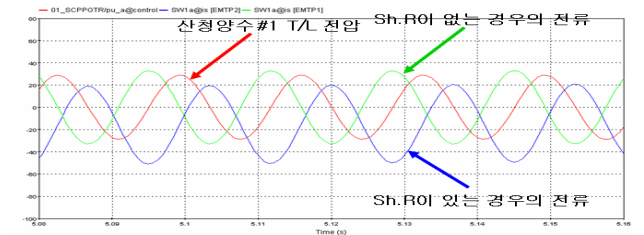
다음 그림 8은 S/P/P #1호기의 단자전압의 실효치이다.



〈그림 8〉 S/P/P #1호기의 단자전압(실효치)

최초 발전기 기동시 1[p.u.]의 전압을 공급하고, 3초에 선로가 가압되면 전압이 약 1.01[p.u.]까지 상승하는 것을 확인할 수 있다. 또한 5초에 시송전 선로가 가압되는 순간 K S/S의 Sh.R에 전력이 공급되면서 단자 전압이 일시적으로 0.95~1.2[p.u.] 정도로 흔들리는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 6에서와는 다르게 전압이 상승하지 않고, 정상상태로 유지되는 것을 확인할 수 있다. K C/C에 기동전력을 공급하는 부분은 S/P/P에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있으며, 30초 시점은 30MVA의 Y N/P의 소내부하를 공급하는 시점이다.

다음 그림 9는 전압과 함께 Sh.R이 있는 경우와 없는 경우의 전류를 하나의 그래프로 도시한 것이다. 전압과 전류의 크기는 서로 다르지만 하나의 그래프로 표시하기 위하여 scale을 조정하였다.



〈그림 9〉 S/P/P 출력단의 전압과 전류

그림 9를 통해 Sh.R이 없는 경우 진상 전류가 흐르고 있어 발전기 측에서 상당한 크기의 무효전력을 흡수하고 있는 것을 알 수 있다. 반면 Sh.R을 투입한 경우 지상 전류가 흐르게 됨을 알 수 있으며, 무효전력을 공급하고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 시송전 계통에서 송전선로 가압시 발생하는 과도현상을 분석하기 위하여 EMTP를 사용해 국내 OO지역 주 시송전 계통을 모델링하고, 시송전 선로 가압시 Sh.R의 존재 유무에 따른 영향을 분석하였다. 제시된 모의 결과와 같이 Sh.R이 없는 경우, 발전기의 단자 전압 및 공급전력이 매우 크게 상승하는 것을 볼 수 있으며, 실제의 경우 발전기가 손상되거나 보호기에 의해 트립될 것을 예상할 수 있다. 이와 같이 시송전 계통의 복구계획을 수립하기 위해서는 EMTP와 같은 과도현상 해석 프로그램을 사용하여 먼저 시뮬레이션을 통한 분석을 수행해야 함을 알 수 있다.

본 논문에서는 OO지역 주 시송전 계통을 대상으로 모의를 수행하였으며 현재 다른 지역의 계통에 대한 연구를 진행중에 있다.

[참고 문헌]

- [1] "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구", 최종 보고서, 한국전력거래소, 2003.
- [2] 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.
- [3] M. M. Adibi et al., "Overvoltage Control During Restoration", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 7, No. 4, pp. 1464-1470, November 1992.
- [4] "전계통 정전시 복구계획", 한국전력거래소, 2007. 11.