

2.1 고조파 과전압의 발생

그림 3과 그림 4는 표 1의 시나리오에 대한 동특성 모의 결과로 덕소변전소에서 부하투입을 수행하기 위해 무부하 상태의 변압기 가압 이후의 결과를 나타낸 그림이다.

모의 결과에서 표시된 바와 같이 덕소변전소에서 부하투입을 위하여 무부하 상태에서 변압기를 가압했을 때, 변압기 1차측 상전압(A상)은 불과 3 cycle 이내에 최대값이 300[kV]를 초과하는 과전압이 검출되었다. EMTDC 프로그램은 7.2초 이후 더 이상의 결과를 표시하지 않았다. (부동소수점 오버플로우에 기인한 것으로 추정됨) 또한 청평수력발전소의 단자전압(3상 RMS 전압) 역시 그림 4에서와 같이 불과 0.2초 사이에 10^7 [pu] 이상으로 급격히 상승하였다.

복구 과정에서 발생한 과전압이 자기여자 현상에 기인한 것인지 여부를 확인하기 위해 정태해석을 수행하였고 [6], 그 결과를 표 2에 나타내었다.

정태해석 결과를 살펴보면, 자체기동 발전기가 공급 가능한 무효전력량이 시송전선로의 충전용량보다 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 시송전계통에서 발생한 과전압의 원인이 발전기의 자기여자 현상에 기인한 것이 아님을 알 수 있다.

2.2 고조파 과전압의 원인

그림 3의 덕소변전소 A상 전압에 대한 분석에서 전압의 주파수는 정상주파수의 약 3.7배 정도이며, 이는 3고조파 성분이 강한 것으로 분석되었다.

3고조파 성분이 강하게 포함된 과전압에 대해 캐나다와 EPRI의 연구 결과가 보고된 바 있으며[5], 이러한 과전압은 고조파 공진현상에 기인하는 것으로 알려져 있다.

표 1. 모의 시나리오

시간 (sec)	내용	비고
0.0	발전기 3기 동시기동, #1발전기 스텝업변압기 가압 및 자체부하 전력공급	자체부하 : 발전기 정격의 5%, pf=0.98
5.0	#1발전기 선로 가압	
7.0	덕소변전소 변압기 가압	
10.0	덕소변전소 부하투입	2MVA(pf=0.98)
12.5	#3발전기 계통병입	
15.0	덕소변전소 부하투입	8MVA(pf=0.98)
21.5	#2발전기 계통병입	
25.0	덕소변전소 부하투입	10MVA(pf=0.98)
30.0	선로 가압	
40.0	동특성 모의 종료	

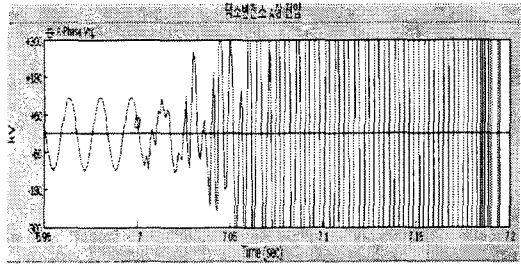


그림 3. 덕소변전소 A상 전압

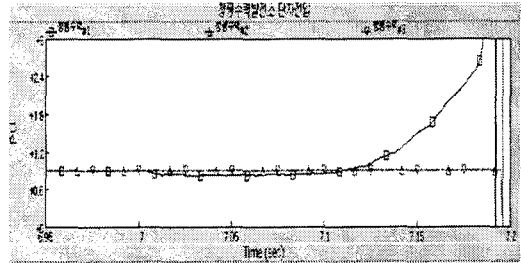


그림 4. 청평수력발전소 단자전압

표 2. 정특성 해석 결과

시송전선로	검토 결과					발전기 전압
	발전기 No	한계 Q [MVAR]	공급 Q [MVAR]	Q 여유 [MVAR]	델타각 [°]	
주선로	1	14.0	8.525	5.475	3.79	9.792 [kV] 89.02 [%]
	2	13.7	6.257	7.443	2.47	
	3	27.9	15.907	11.993	3.78	
	총계	55.6	30.689	24.911		
예비선로	1	32.2	4.914	27.286	23.27	12.828 [kV] 92.96 [%]
	2	32.2	4.914	27.286	23.27	
	3	32.2	4.914	27.286	23.27	
	총계	96.6	14.742	81.858		

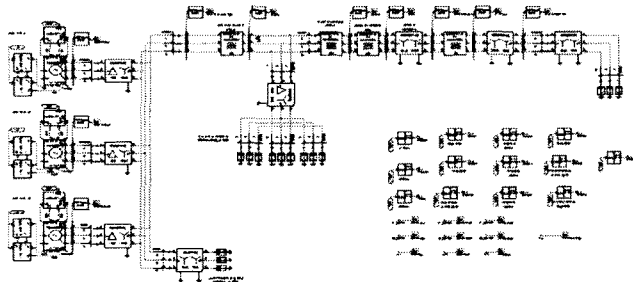


그림 2. 경인북부지역 시송전 모의 계통도

2.1.1 변압기 결선 변경

고조파 공진에 의한 과전압은 변압기의 결선을 Δ 방식으로 변경하면 억제할 수 있다고 알려져 있다. 따라서, 본 논문에서는 고조파 공진을 억제하기 위한 방법으로 덕소변전소 변압기의 1차측을 Δ 결선으로 변경하여 모의 수행하였다.

표 2는 모의 시나리오이며, 그림 5와 그림 6은 모의 결과이다.

모의 결과를 살펴보면, 덕소변전소의 변압기를 Δ 결선으로 변경함으로써 고조파 공진에 의한 과전압이 발생하지 않았다. 이러한 결과로 변압기 가압시의 과전압은 고조파 공진현상에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

국내의 경우 전정전 사고 발생 확률은 매우 미약한 상황이며, 계통 설비의 추가 또는 변경으로 인해 시송전계통이 변경이 불가피한 상황에서 계통 복구 과정에서 사용하기 위해 특정 변전소의 변압기를 Δ 결선으로 변경하는 것은 현실적으로는 적합하지 않다.

표 3. 모의 시나리오

시간 (sec)	내용	비고
0.0	발전기 3기 동시가동, #1 발전기 스텝업변압기 가압 및 자체부하 전력공급	자체부하 : 발전기 정격의 5%, pf=0.98
5.0	#1발전기 선로 가압	
7.0	덕소변전소 변압기 가압	
10.0	덕소변전소 부하투입	2MVA(pf=0.98)
12.5	#2발전기 계통병입	
15.5	#3발전기 계통병입	
20.0	덕소변전소 부하투입	8MVA(pf=0.98)
25.0	덕소변전소 부하투입	10MVA(pf=0.98)
30.0	선로 가압	
40.0	동특성 모의 종료	

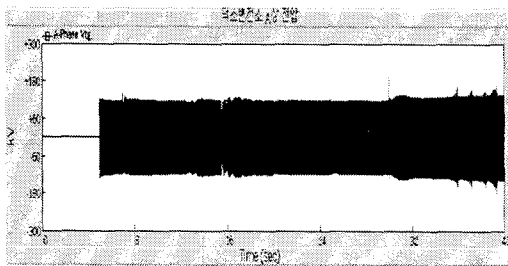


그림 5. 덕소변전소 A상 전압 (덕소변전소 주변압기의 1차측 Δ 결선)

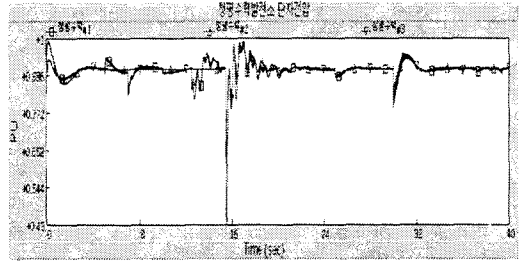


그림 6. 청평수력발전소 단자전압 (덕소변전소 주변압기의 1차측 Δ 결선)

3. 결 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시송전 계통 복구과정 중 변압기 가압 과정에서 발생할 수 있는 고조파 과전압에 대해 기술하였다. 또한, 이에 대한 원인을 현재까지 알려진 바와 같이 고조파 공진현상에 의한 과전압임을 확인하였다.

정태해석 수행 결과 발전기의 자기여자 현상에 기인한 것이 아니며 3고조파 성분에 의한 고조파 공진 현상에 의한 것임을 변압기의 1차측을 Δ 결선으로 변경함으로써 확인할 수 있었다. 그러나 변압기를 Δ 결선으로 변경하는 것은 현실적으로 적합하지 않으므로 고조파 공진의 억제 방안에 대한 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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., "Power System Restoration Issues", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 4, No. 2, pp. 19-24, April 1991.
- [3] M. M. Adibi et al., "Special Consideration in Power System Restoration The Second Working Group Report", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 9, No. 1, pp. 15-21, February 1994.
- [4] G. Morin, "Service Restoration Following a Major Failure on the Hydro-Quebec Power System", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 2, No. 2, pp. 454-462, April 1987.
- [5] M. M. Adibi, R. W. Alexander, "Overvoltage Control During Restoration (Power System Restoration Working Group Report)", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 7, No. 4, pp. 1464-1470, November 1992.
- [6] H. J. Lee et al., "Analysis Of The Primary Restorative Transmission System", Proc of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2002), Vol. 1, pp.483-486, July 7-11, 2002..