

우리나라 계통의 전압불안정 문제를 개선하기 위한  
STATCOM과 SVC의 적용 검토

이상호\*, 이정호\*, 오태규\*, 김태욱\*\*, 문봉수\*\*  
한국전기연구원\*, 한국전력공사\*\*

A Study on the Application of STATCOM, SVC  
to Enhance the Voltage Stability

Sang-Ho Lee\*, Jeong-Ho Lee\*, Tae-Kyoo Oh\*, Tai-Ok Kim\*\*, Bong-Soo Moon\*\*  
KERI\*, KEPCO\*\*

**Abstract** - Recent catastrophic failures of power system in various countries highlight the importance of the voltage stability and reactive power operation. Under the emergency situations, dynamic reactive power sources such as STATCOM and SVC play important roles in supporting the system voltage. This paper investigate the stability problem in KEPCO system and suggest the installation of the dynamic reactive power sources as a countermeasure.

1. 서 론

최근 북미 동북부 광역전선 등 해외에서 수차례 발생한 대정전 사태와 우리나라에서는 태풍 매미에 의한 정전 사태를 계기로 전력공급 중단사태가 국가적 재난사고로 인식되고 이에 따라 안정적인 전력 공급에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 특히 우리나라의 경우는 수도권에 전력 수요가 밀집되어 있고, 특정 상정고장 시에는 수도권 부하에 전력을 공급하는 주요 간선 송전계통에 과도 안정도 및 전압 불안정 문제가 야기될 수 있으며 이로 인해 전압제약에 의한 송전용량 제한이 가해지고 있다. 또한 매년 지속적으로 성장하는 전력 수요에 안정적으로 전력을 공급하기 위하여 공급설비의 지속적인 확충뿐만 아니라 전력을 원활히 수송하기 위한 조상설비의 설치가 요구되나, 설치부지 고갈과 기술적 제약 등으로 전력공급 설비가 적기에 건설되지 못하는 사례가 늘고 있어 단기적인 전력공급 안정성이 위협받고 있는 실정이다. 최근 이러한 문제의 해결책의 하나로써 2004년 및 2005년 울진 N/P 5, 6호기 건설시 765kV 신태백-신가평 간 선로 격상으로 상시 전력수송에는 큰 문제가 없으나 동 선로의 루트 고장 시(765 kV 병행 2회선 차단)의 가혹 상정고장)에는 잔여 345 kV 및 154 kV 송전선로에 일시에 조류가 집중되어 전압불안정 문제를 초래하여 전력공급 지장이 우려되는 실정이다. 또한 현재 4기가 운전 중인 당진 발전소의 경우 2010년까지 4기가 추가로 건설되어 총 8기가 운전되며 여기서 생산된 전력의 대부분은 신안성-신서산 765kV 선로를 통해 수도권으로 수송되게 된다. 그러나 이 지역 계통구성상의 특성으로 인해 765kV 병행 2회선 차단)의 가혹 상정사고 시의 안정운영 대책은 부하차단, 발전기 트립 등 복합적 안정화 대책을 필요로 한다. 이를 개선하기 위한 순동무효전력설비로써 STATCOM과 SVC를 투입하기 위한 최적 위치, 적정 용량과 두 기기의 장단점을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 한전계통의 불안정 현상 검토

한전계통의 주요한 문제로는 수도권 전력수요 집중 현상, 대규모 발전단의 인출 선로의 병행 고장 시 동기 탈조 문제, 병렬 선로의 확장으로 인한 고장전류의 증가 등이 대표적이라 할 수 있다. 특히 수도권 지역의 전력 수요를 공급하기 위해 운영될 예정인 765kV 선로의 도

입으로(신가평-신태백, 신안성-신서산 간) 큰 전력이 이 선로를 통해 전송되기 때문에 765kV 병행 2회선 차단 시에는 수도권 지역에 전압불안정 문제를 야기할 수 있다고 지적되어 왔다. 본 논문에서는 2005, 2007, 2010년도의 한전계통을 대상으로 765kV 병행 2회선 차단의 경우를 상정사고로 하여 상정사고 시 불안정 가능성과 대책을 검토하였다. 상정사고에 대한 계통 모의는 다음과 같은 시나리오를 가정하였다. 765kV 병행 2회선 차단 사고 시는 인근 발전기가 동기 탈조할 수 있으므로 과도 해석을 통해 과도 불안정을 해소할 수 있는 만큼의 발전기 탈락을 가정하였다. 또, 실제 상황을 고려하기 위해 제페로 1회 시도 후 실패한 것으로 가정하였으며, 765kV 선로 사고 시 345kV 단에 투입되어 있는 분로 리액터(Sh.R)가 같이 차단되는 것도 고려하였다. 시간에 따른 모의과정은 아래와 같다.

- ▷ t=1sec - 선로 3상 사고
- ▷ t=1.0833sec (사고 후 5 cycle) - 고장 제거 (선로 차단) : 765kV 계통의 경우 5 cycle 이내에 고장이 제거되어야 한다.(신뢰도 유지기준) 본 모의에서는 최악의 상황을 가정하기 위해 사고 후 5 cycle 후에 고장이 제거되는 것으로 한다.
- ▷ t=1.15sec (선로 차단 후 4 cycle) - 발전기 차단 : 상정 사고 시 동기 탈조가 예상되는 발전기에 대해 발전기 Trip을 고려한다.
- ▷ t=2.0833sec (선로 차단 후 60 cycle) - 제페로
- ▷ t=2.1667sec (제페로 후 5 cycle) - 고장 제거 (선로 차단) : 본 모의에서 고려하는 사고는 일시적인 사고가 아니기 때문에 제페로 시도 후 다시 차단
- ▷ t=2.25sec (선로 사고 후 1.25sec) - 765kV 선로 사고 시 345kV 단에 투입되어 있는 분로 리액터(Sh.R)를 차단한다.

2.1.1 보상기기의 최적위치 선정

상정사고 시 가장 큰 효과를 보기 위한 무효전력 보상기기의 위치 선정을 위해서 조류계산을 통한 감도해석을 이용하여 위치를 선정하였다. 먼저 상정사고 시 과도불안정한 경우 일부 발전기를 탈락하여 과도 안정도를 확보하도록 하고 조류계산이 수행될 수 있는 최소의 무효전력 보상량을 구하였다.

과도 안정도 검토 결과로 다음 표 1과 같이 상정사고 시 차단 대상 발전기를 정하였다.

표 1. 과도 불안정을 막기 위한 발전기 차단 대수

	2005년	2007년	2010년
신가평-신태백 765kV 2회선 사고	울진 1기	울진 1기	울진 1기
신안성-신서산 765kV 2회선 사고	당진 2기	당진 4기	당진 2기

참고로, 제페로 유무와 과도불안정을 막기 위한 발전기 차단 대수와는 무관하였다.

보상기기의 최적위치를 결정하기 위하여 감도해석으로 설치 후보지 우선 순위를 정하고, 실제 보상량을 결정하기 위해서 상정사고 시 일부 발전기 차단을 가정하고 조류계산을 수행시키기 위해 설치 후보지에 무효전력 보상량을 늘려가면서 조류계산이 수행하는 최소량을 구하였다. 2005년도의 경우는 발전기 탈락을 통한 안정도 제어로 추가적인 무효전력 보상량이 없어도 조류계산이 수행하게 된다. 2007, 2010년도의 경우는 발전기 탈락을 통해 과도 안정도는 확보되었으나 조류계산은 수행하지 않아 추가적인 보상기기의 투입을 통해 조류계산을 수행시킨록 한다. 각 연도별로 보상기기의 요구량이 최소인 모선들의 결과의 일부를 표 2에 나타내었다.

표 2. 연도별 최소 보상 요구량 (단위: MVar)

2007년		신가평-신태백 고장		신안성-신서산 고장	
순위	모선이름	용량	모선이름	용량	용량
1	동서울154	200	동서울154	410	
2	미금154	210	신용인154	410	
3	동서울345	220	화성154	430	

2010년		신가평-신태백 고장		신안성-신서산 고장	
순위	모선이름	용량	모선이름	용량	용량
1	동서울154	450	신용인154	400	
2	미금154	450	신성남154	440	
3	동서울345	480	신안성345	450	

상정사고 시에 대한 위의 결과와 평시의 운영을 고려하여 동서울 154kV 모선에 무효전력 보상기기를 투입하는 것으로 가정한다.

## 2.2 STATCOM과 SVC의 적용 검토

본 논문에서는 모든 모의에 PTI사의 PSS/E를 사용하였으며 STATCOM 동적 모델로는 CSTCON을 사용하였다. 사용된 파라미터는 다음과 같다.

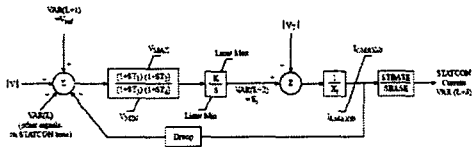


그림 1. STATCOM 동적 모델(CSTCON 모델)

NF	이름	IB	T1	T2	T3	T4
기기번호	CSTCON	1	0.001	0.001	0.001	0.001

K	Droop	Vmax	Vmin
$\frac{25}{\Delta E_{term}/\Delta E_{int}}$	0.01-0.05	999	-999

I <sub>cmx</sub>	I <sub>cmn</sub>	V <sub>cutout</sub>	E <sub>limit</sub>	X <sub>t</sub>	Acc	STBASE
1.25	1.25	0.2	1.2	0.1	0.5	정격

SVC 동적 모델로는 CSVGN1을 사용하였으며 사용된 파라미터는 다음과 같다.

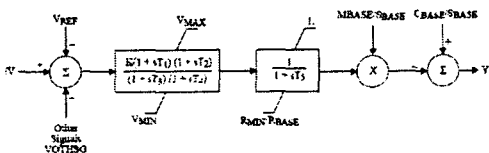


그림 2. SVC 동적 모델(CSVGN1모델)

K	T1	T2	T3	T4	T5
100	1	0	10	0	0.05

R <sub>min</sub>	V <sub>MAX</sub>	V <sub>MIN</sub>	C <sub>BASE</sub>
0	1	0	200

### 2.2.1 STATCOM의 적용

현재 상품화되어 있는 STATCOM은 최대 200MVar 정도이므로 앞 절에서 정한 후보지 모선으로 동서울 154kV 모선에 STATCOM 200MVar를 투입하는 것으로 가정한다. 그림 3은 2010년도에 신가평-신태백 765kV 병행2회선 동시 탈락 사고의 경우 동서울 345kV 모선의 전압을 표시하였다. 그림에서 실선은 STATCOM이 투입되어 있는 경우이며 점선은 STATCOM이 없는 경우를 나타낸다.

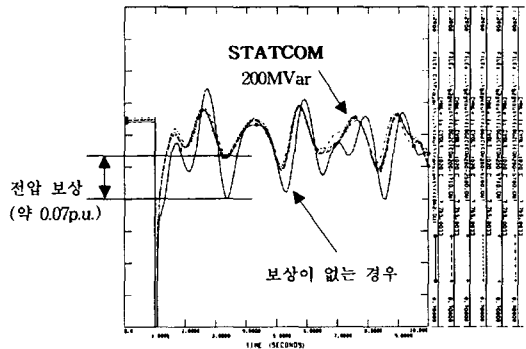


그림 3. 2010년도 신가평-신태백 사고 시 동서울 모선(#2500)의 전압

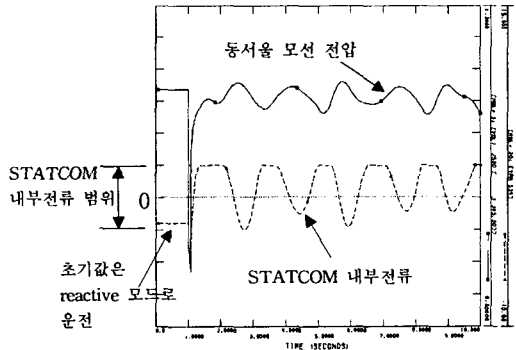


그림 4. 2010년도 신가평-신태백 사고 시 동서울 모선 전압과 STATCOM 내부전류

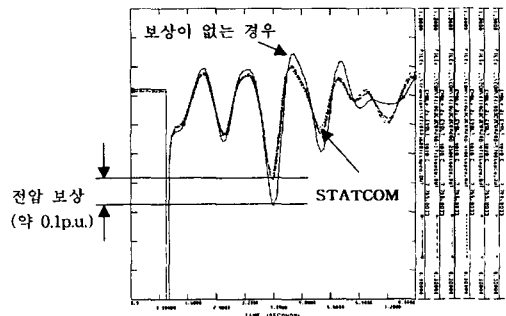


그림 5. 2010년도 신안성-신서산 사고 시 동서울 모선(#2500)의 전압

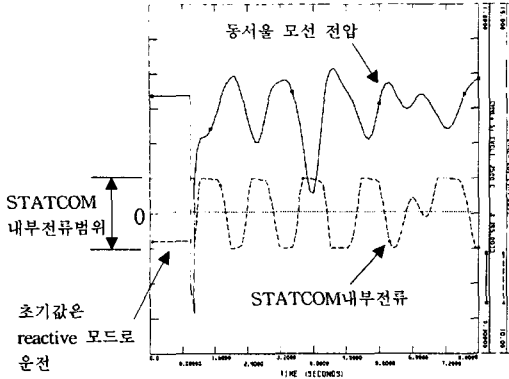


그림 6. 2010년도 신안성-신서산 사고 시 동서울 모선 전압과 STATCOM 내부전류

### 2.2.2 SVC의 적용

STATCOM과 SVC의 효과를 비교하기 위하여 동일한 모선(동서울 154kV)에 STATCOM과 SVC를 각각 200MVar씩 투입하고 결과를 비교하였다. 2010년도의 경우 765kV 병행 2회선 사고 시에 대해 STATCOM과 SVC가 각각 투입된 경우에 대한 결과를 아래에 나타내었다. 그림에서와 같이 STATCOM이 SVC에 비해 전압 보상 효과가 약간 나은 것으로 나타났으나 그 차이가 크지는 않은 것으로 나타났다.

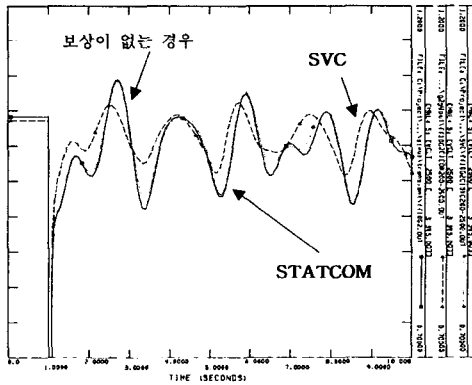


그림 7. 2010년도 신가평-신태백 사고 시 STATCOM과 SVC의 효과 비교(동서울 모선 전압)

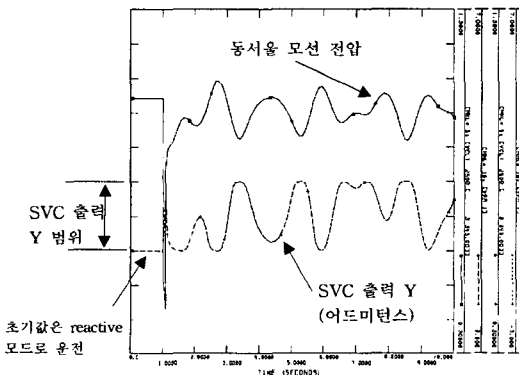


그림 8. 2010년도 신가평-신태백 사고 시 동서울 모선 전압과 SVC의 출력

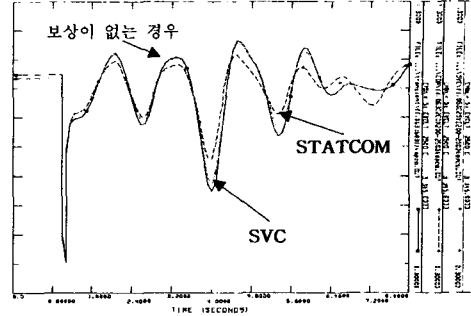


그림 9. 2010년도 신안성-신서산 사고 시 STATCOM과 SVC의 효과 비교(동서울 모선 전압)

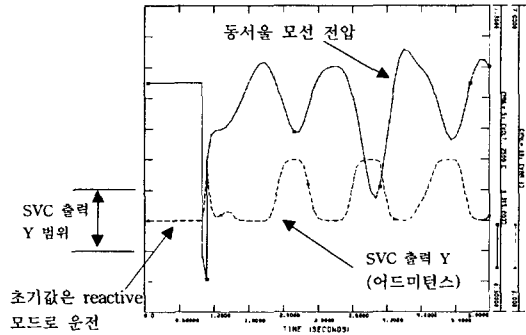


그림 10. 2010년도 신안성-신서산 사고 시 동서울 모선 전압과 SVC의 출력

### 3. 결 론

765kV 병행 선로 차단과 같은 가혹한 상정 고장 발생 시 발전기 탈락 등에 의해 과도 안정도를 어느 정도 확보한 상태에서 순동무효전력설비의 전압 안정화 효과를 확인할 수 있었다. 또, SVC와 STATCOM의 특성 비교에서는 전체적으로 STATCOM이 전압제어면에서 다소 우수한 것으로 모의되었으나 그 차이는 크지 않아 설비의 종류 선정 시는 다른 요소(경제성, 운영신뢰도 등)에 대한 종합 검토 후 결정해야 할 것으로 보인다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma, Thyristor-based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, IEEE Press Series on Power Engineering, Wiley-Interscience, 2002
- [2] Neville Watson, Jos Arrillaga, Power Systems Electromagnetic Transients Simulation, IEE Power and Energy Series 39, 2003
- [3] PSS/E v.29 Online Documentation, PTI, 2002
- [4] John A. Diaz de Leon II and Carson W. Taylor, "Understanding and Solving Short-Term Voltage Stability Problems", Proc. of PES Summer Meeting, pp.745-752, July 2002
- [5] N. Mithulananthan, C.A. Canizares, John Reeve and Graham J. Rogers, "Comparison of PSS, SVC, and STATCOM Controllers for Damping Power System Oscillations", IEEE Trans. on Power Systems, pp.786-792, May 2003
- [6] "우리나라 전력계통에서의 여러 가지 사고현상별 취약개소 도출 및 해소 방안 연구", 한국전력공사 전력연구원 2002. 11.
- [7] "수도권 순동 무효전력 확보 방안에 관한 연구", 한국전력공사 전력연구원 2002. 12.
- [8] "수도권 전력계통 안정도 향상을 위한 FACTS 설비 설치 타당성 연구", 한국전기연구원 2003. 9