

전압안정도 향상을 위한 무효전력 보상설비 설치 사례 연구

이정호, 오태규, 이상호,  
한국전기연구원,

김태옥\*,  
\*한국전력공사,

이병준\*\*  
\*\*고려대학교

A Study on the Applications of Rective Power Compensators  
to Improve the Voltage Stability

J.H. Lee, T.K. Oh, S.H. Lee,  
KERI,

T.O. Kim\*,  
\*KEPCO,

B.J. Lee\*\*  
\*\*Korea University

**Abstract** - 미국 서부지역의 정전 경험을 통해 전압불안정 방지를 위한 무효전력 보상설비에 관한 연구가 진행되었고 STATCOM, SVC 등과 같은 FACTS를 이용한 무효전력 보상설비의 설치 사례가 최근 보고되었다. 국내에서는 수도권 지역의 전력계통 운영 상황을 고려하여 전압안정도 향상을 위한 순동무효전력 설비 설치에 관한 연구가 진행 중에 있으며, 본 논문에서는 최적의 무효전력설비를 선정하기 위하여 해당분야의 국외사례를 조사, 비교, 분석하였다.

6kV, 6kA이며 2-level보다 고조파 전류를 감소시키는 3-level 인버터로 되어 있음. 인버터 제어는 3-펄스 또는 1-펄스 보다 고조파 측면에서 우수한 5-펄스 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 채용하고 있다. 이러한 설계에 의해 작은 용량의 고조파 필터가 필요하게 되었고 Talega 변전소에는 3개의 69MVar 병렬 캐패시터가 230kV 계통에 직접 연결되어 있다. Talega STATCOM시스템은 STATCOM 인버터 운전과 3개의 69MVar 캐패시터를 제어할 수 있으며 SDG&E SCADA에 의한 원격운전과 변전소의 제어소에서 수동운전이 가능하다. 다음 그림 1은 Talega변전소 STATCOM의 구성을 보여준다.

1. 서 론

환경문제, 경제성, 경과지 확보의 어려움으로 송전선로의 건설이 어려워짐에 따라 송전선로의 이용률은 점차 증대되고 있으며 사고시 계통에 주는 영향이 커질 것으로 전망되고 있다. 대전력을 수송하는 전력계통에서의 사고가 무효전력수급 불안정에 기인한 전압불안정으로 이어지는 것으로 보고되면서 무효전력 보상설비를 전력계통에 적용, 설치하기 위한 여러 연구가 진행되어왔고 전력변환 기술의 발달에 힘입어 1980년 이후 고속 제어가 가능한 순동무효전력 설비인 FACTS 설비가 전력계통에 도입되기 시작하였다. 미국 서부 지역의 대정전 사례에서 전압불안정 방지를 위해 해당 지역 전력회사에서는 순동무효전력 설비 설치 사례가 2건 보고되었다. 첫째는 San Diego Gas & Electric (SDG&E) Talega 138/230kV 변전소의 138kV측에 설치된 STATCOM (Static Synchronous Compensator) 설치 사례이다. 이 설비는 철두 무하시를 대비한 동적 무효전력 보상을 주요 목적으로 하는 시스템이다. 둘째는 Pacific Gas & Electric (PG&E) Newark 230kV 변전소에 설치된 SVC(Static Var Compensator)로써 단일 선로사고시 115 및 230kV 계통이 전압붕괴 수준에 도달하고 철두 무하시의 계통 운영에 대비한 동적 무효전력 보상 시스템이다. PG&E는 신뢰도를 확보하고 무효전력 여유도를 증가시킴으로써 전압안정도를 향상시키며 샌프란시스코 지역의 정전을 방지하기 위해 기존의 230kV 계통에 설치되어 있는 노후화된 동기조상기를 SVC로 대체하였다.

SDG&E Talega -100/+100 Mvar. 138 kV  
STATCOM / BTB System

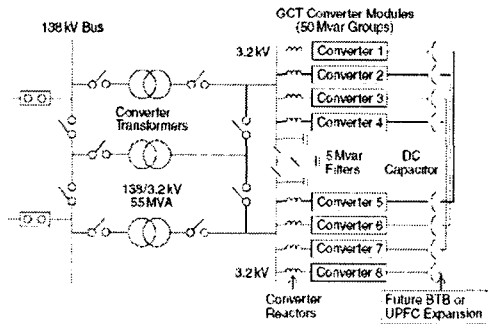


그림 1. Talega 변전소 STATCOM 구성

설치된 STATCOM의 이점은 다음과 같다.

- 계통 외란에 대한 빠른 대응
- 광범위한 운전 조건에서의 원활한 전압 제어
- 일부 인버터 모듈의 고장시에도 나머지 모듈은 정격에서 정상적으로 운전 유지 가능
- 기기의 고장에 대하여 STATCOM의 정지 없이 자동적으로 처리

2. 본 론

2.1 Talega STATCOM 설치 사례

미국 SDG&E의 Talega 138kV 변전소에 설치된 STATCOM 정격용량은 ±100MVA이며 각 그룹이 50MVA Voltage Source Converter로 된 2개의 그룹으로 구성되어 있다. 50MVA 컨버터 그룹은 12.5MVA 모듈 4세트에 이루어져 있으며 각 모듈에는 5MVar의 고조파 필터가 있음. 50MVA STATCOM 그룹은 3.2kV/138kV, 55MVA 승압 변압기에 의해 138kV 계통에 연결되어 있다.

전력용 반도체 소자는 6인치 GCT(Gate Commutated turn-off Thyristors)이며 정격은

2.2 Newark SVC 설치 사례

미국 PG&E Newark 230kV 변전소에 설치된 SVC 정격용량은 -100MVar/+220MVar이며 154MVar Thyristor-controlled reactor (TCR)과 166MVar Thyristor-switched capacitor (TSC), 2개의 27MVar 필터로 구성되어 있다. SVC는 사고시 빠른 복구를 위해 3개 단상 변압기에 의해 230kV 계통에 연결되어 있다. 3개의 75MVar 기계식 스위치의 캐패시터가 230kV 모선에 연결되어 SVC 전압 제어와 통합되어 SVC 운전을 ±40MVar 범위내에 유지하여 최적으로 운영되도록 하므로써 상정고장시 SVC 동적범위를

유지하도록 하고 있다.

SVC는 RTU/SCADA에 의한 원격운전과 변전소의 SVC 제어소에서 운전자 워크스테이션으로 운전이 가능하다. 다음 표 1은 Talega변전소의 STATCOM과 Newark 변전소의 SVC 현장 사례조사 내용을 항목별로 비교한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이 SVC와 STATCOM은 사고시 동적 무효전력 보상 능력에는 큰 차이가 없으나 투자비 측면에는 많은 차이를 보여 기술적으로는 대동소이하며 부지확보면에서는 STATCOM이 유리한 면이 있으나 경제적인 측면을 고려하면 SVC가 현재까지는 유리해 보이는 것을 알 수 있다.

표 1. Talega STATCOM 및 Newark SVC 비교표

구분	STATCOM	SVC
설치목적	인근계통 고장시 순동무효전력 공급 500kV 선로고장 대비	230kV 선로고장 대비
설치회사	SDG&E	PG&E
설치장소	TalegaS/S (San Clemente)	NewarkS/S (San Francisco)
설치전압	138kV/3.2kV	230kV/21.5kV
설치용량	±100MVar	+220/-100MVar
MSC협 조제어	60MVar×3Bank(230kV)	75MVar×3Bank(230kV)
변압기	3상 55MVA×3Bank (1Bank는 예비)	단상 66.7MVA×4대×1Bank (1대는 예비)
제작사	TMT&D	ABB
설치비용	\$25,000,000	\$12,000,000
공사기간	18개월	12개월
운전개시	2003. 2	2002. 6
부지면적	30m×40m	35m×70m
선정시 고려사항	부지계약, 신기술도입	경제성, ±용량 차동 가능
소음	45dB이하(심야)	-
손실	5%이내	3%이내
Avail- ability	96%	98%
설비고장 사례	없음	2~3회 휴면예러 의 없음
설비용동 사례	없음	인근 선로고장시 정동작 1건
확장성	향후 UPFC, BTB 고려	고려하지 않음

### 2.3 제작사별 공급 사례

SVC 및 STATCOM에 대하여 주요 해외제작사의 공급 사례를 조사하였다. Siemens사가 공급한 SVC는 주로 100MVar 이상 300MVar 이하의 용량이 가장 많이 설치되었으며 공급사례는 다음 표 2와 같다.

표 2. Siemens사 SVC 용량별 추세 (Capacitive MVar)

용량 (MVar)	설치수
0 ~ 100	3
100 ~ 200	15
200 ~ 300	9
300 ~ 400	3

표 3의 Siemens사가 공급한 SVC의 전압별 설치수를 보면 200 ~ 300kV 전압범위에서 가장 많은 설치 사례를 보였다.

표 3. Siemens사 SVC 전압별 설치 추세

전압 (kV)	설치수	전압 (kV)	설치수
100 ~ 200	2	400 ~ 500	5
200 ~ 300	17	500 ~ 600	4
300 ~ 400	2		

Siemens사가 공급한 STATCOM의 용량별 설치사례는 아래 표 4와 같다.

표 4. Siemens사 STATCOM 용량별 설치수

용량 (MVar)	설치수	용량 (MVar)	설치수
0 ~ 100	3	100 ~ 200	5

ABB사의 SVC 용량별 설치수는 다음 표 5와 같이 100 ~ 400 MVA 용량의 설비가 다수를 차지하고 있으며 표 6과 같은 전압별 설치 추세를 살펴보면 100 ~ 300kV SVC 공급 사례가 많은 것으로 보고되었다.

표 5. ABB사 SVC 설치 용량별 추세  
(Total MVA(=capacitive + inductive) 기준)

용량 (MVA)	설치수	용량 (MVA)	설치수
0 ~ 100	46	400 ~ 500	10
100 ~ 200	21	500 ~ 600	7
200 ~ 300	29	600 ~ 700	4
300 ~ 400	24		

표 6. ABB사 SVC의 설치 전압별 추세

전압 (kV)	설치수	전압 (kV)	설치수
100 ~ 200	44	500 ~ 600	11
200 ~ 300	41	600 ~ 700	0
300 ~ 400	13	700 ~ 800	14
400 ~ 500	18		

ABB사가 공급한 STATCOM의 용량별 설치사례는 아래 표 7과 같다.

표 7. ABB사 STATCOM 용량별 추세

용량 (MVar)	설치수	용량 (MVar)	설치수
0 ~ 100	4	100 ~ 200	2

TMT&D사가 공급한 SVC는 주로 100MVar 이상 300MVar 이하의 용량이 가장 많이 설치되었으며 공급 사례는 다음 표 8과 같다.

표 8. TMT&D사 SVC 용량별 추세  
(Total MVA(=capacitive + inductive) 기준)

용량 (MVA)	설치수	용량 (MVA)	설치수
0 ~ 100	3	300 ~ 400	1
100 ~ 200	1	400 ~ 500	-
200 ~ 300	3	500 ~ 600	1

아래의 표 9는 TMT&D사 SVC 설치시 적용 전압을 정리한 것으로 200~300kV에 SVC가 주로 적용되었음을 나타낸다.

표 9. TMT&D사 SVC 설치 적용 전압

전압 (kV)	설치수	전압 (kV)	설치수
100 ~ 200	1	400 ~ 500	1
200 ~ 300	3	500 ~ 600	1
300 ~ 400	-	미확인	3

TMT&D사 STATCOM 공급실적을 조사해 본 결과, 최근 설치된 STATCOM은 100MVar 이상의 용량을 공급했음을 확인 하였다. 표 10은 용량별 설치 추세를 나타낸다.

표 10. TMT&D사 STATCOM 용량별 추세

용량 (MVar)	설치수	용량 (MVar)	설치수
0 ~ 100	2	100 ~ 200	2

### 3. 결 론

전압불안정 방지를 위한 순동무효전력설비 설치 사례를 조사하였고, 해외 주요 제작사의 SVC 및 STATCOM 공급 사례를 비교, 분석하였다. 순동무효전력설비의 해외 제작사 공급 사례를 통해 용량은 100 ~ 300MVA, 설치전압은 100~ 300kV 계통에 가장 많이 설치하는 것으로 조사되었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구원, "대규모정전 예방을 위한 단기계통운영정책 수립에 관한 연구", 2004.4
- [2] 한국전기연구원, "수도권 전력계통 안정도 향상을 위한 FACTS 설비설치 타당성 연구", 2003.9
- [3] B. Ray, M. Basu, B. Farmer, M. Capistrano, A. Bostorm, "Application of FACTS Technology to Replace Aging Transmission Assets and Address Voltage Stability Related Reliability Challenges in San Francisco Bay Area", the American Power Conference

2002, 2002

[4] Siemens, "Siemens Power Transmission and Distribution reactive power compensation projects reference lists", 2003.6

[5] Siemens, "Siemens Power Transmission and Distribution - Reference List for Siemens STATCOM and UPFC Installations, High Voltage - Reactive Power Compensation", 2003.6

[6] ABB, "ABB SVC Projects Worldwide Utility SVC", 2004

[7] ABB, ABB SVC Light Reference List, 2004

[8] TMT&D, "SVC-Static Var Compensator", 2003