

# 제주-해남 HVDC 시스템에 STATCOM 적용 타당성 분석

論 文

54A-8-4

## Feasibility Analysis of STATCOM Application for Jeju-Haenam HVDC System

白承澤\* · 秋元教\*\* · 韓炳文† · 張吉洙\*\*\*

(Seung-Taek Baek · Won-Gyo Choo · Byung-Moon Han · Gil-Soo Jang)

**Abstract** - This paper describes a feasibility analysis result of STATCOM application for the Jeju-Haenam HVDC system. The Jeju-Haenam HVDC system is one of the typical HVDC system interconnected with the low short-circuit-ratio AC system, which is vulnerable to the commutation failure due to the AC voltage variation. STATCOM has been considered as an effective reactive-power compensator to increase short-circuit-ratio of the interconnected AC system. In this study, a simulation model of Jeju-Haenam HVDC system with STATCOM was developed using PSCAD/EMTDC. The developed simulation model was utilized to analyze the dynamic performance analysis of Jeju-Haenam HVDC system with STATCOM. The analysis results show that STATCOM can improve the dynamic performance of Jeju-Haenam HVDC system, such as load-change recovery performance and fault recovery performance.

**Key Words** : 단락비(SCR: Short Circuit Ratio), 동기조상기(SC: Synchronous Condenser), 정지형무효전력보상기(SVC: Static Var Compensator), 인버터형무효전력보상기(STATCOM: Static Synchronous Compensator), PSCAD/EMTDC

### 1. 서 론

HVDC 시스템에서 단락비(SCR: Short-Circuit Ratio)는 교류계통의 단락용량과 HVDC 시스템의 송전용량과의 비율을 의미하는데, HVDC 시스템과 교류계통의 상호간섭현상은 이 단락비와 관계되어있다. 이 값이 3 이상인 경우 교류계통의 강인도가 높다고 하고 2.5 이하인 경우 강인도가 낮다고 한다. 또한 정상상태에서는 단락비가 높다고 하더라도 전송용량의 증대나 교류계통의 고장에 의해 일시적으로 단락비가 낮아질 수 있다.[1]

저단락비 교류계통에 연계된 제주-해남 HVDC 시스템은 송전선로 고장 시 전류실패의 가능성이 크므로 이를 방지하기 위한 대책이 필요하다. 또한 인버터 단에서 순시전압변동을 억제하는 대책이 필요한데 이를 해결하기 위해서는 다양한 운전 조건하에서 안정적으로 무효전력을 공급하기 위한 적절한 방안이 요구된다. 특히 무효전력의 과도부족분을 공급하기 위해서는 연결점의 전압크기에 관계없이 보상이 가능하고 속용성이 우수한 무효전력보상기를 필요로 한다.

저단락비 교류계통에 연계된 HVDC 시스템에서 과도무효전력을 보상하는데 사용가능한 보상기에는 동기조상기, SVC, STATCOM이 있다.[2][3] 동기조상기는 동기전동기와

동일한 구조로 무부하상태에서 여자전압을 제어하여 단자전압을 조절함으로써 무효전력을 공급하는데, 설비의 가격과 정비 및 유지비가 높으며 속용성이 낮은 단점을 갖는다. SVC는 수동소자인 커패시터와 리액터에 사이리스터스위치를 결합하여 스위칭에 의해 무효전력을 조절하여 공급하는데, 설비의 가격과 정비 및 유지비가 동기조상기에 비해 낮고 속용성도 우수하나 연결점의 단자전압에 따라 보상영역이 제한되는 단점을 갖는다. STATCOM은 전압원인버터를 이용하여 동기조상기와 동일한 기능을 수행하며 회전부가 없고, 하드웨어 규모가 작고, 정비 및 유지비 낮으며 속용성이 아주 우수하다. 따라서 과도무효전력을 교류 한주기 내에 제어하는 기능을 갖는다.[4][5][6]

본 연구에서는 STATCOM에 의한 제주-해남 HVDC 시스템의 동적성능개선효과를 분석하기 위해 STATCOM을 포함한 제주-해남 HVDC 시스템의 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발한다.[7][8] 개발된 모델을 이용하여 전송유효전력의 급작스런 변동에 대한 무효전력의 과도보상특성을 분석하고 고장에서 회복될 때 계통이 요구하는 무효전력의 과도보상특성을 분석한다.

### 2. 제주-해남 HVDC 시스템

본 논문에서는 EMTDC를 이용하여 제주-해남 HVDC 시스템과 제주지역의 전 계통을 모델링하고 이를 분석하였다. PSS/E의 데이터를 토대로하여 제주 계통과 발전기 모델을 구성하였고 HVDC 모델은 기존의 모델을 사용하여 150MW의 전력을 공급하도록 구성하였다. 본 모의에서는 가능한 실제계의 데이터를 적용하였고 데이터값을 확보하지 못

† 교신저자, 正會員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : erichan@mju.ac.kr

\* 正會員 : 明知大 차세대전력기술연구센터 · 工博

\*\* 學生會員 : 明知大 工大 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 6月 3日

最終完了 : 2005年 7月 17日

한 경우에는 EMTDC에서 제공하는 디폴트 값을 사용하였다. 제주-해남 계통에 투입되어 있는 HVDC의 정격은 300MW이지만 실제적으로 해남에서 제주측으로 공급하는 양은 약 150MW이므로 HVDC의 송전량을 150MW로 설정하였으며 이밖에 여러 제어기의 파라미터 값들을 150MW에 맞추어 설정하였다.

그밖에 다른 구성요소의 파라미터 값들은 기존의 값들을 그대로 사용하였다. 또한 동기 조상기 모델을 실제 제주측에 설치되어 있는 기기를 EMTDC로 새로 모델링하였고 이를 선로에 투입하였다.

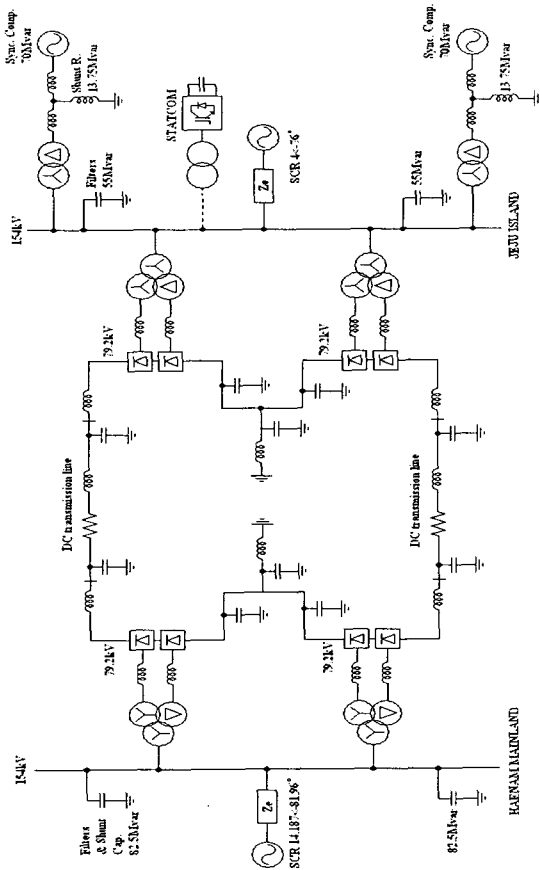


그림 1. 제주-해남 HVDC 전력계통 구성도  
Fig. 1. One-line diagram of HVDC system

표 1. 제주-해남 HVDC 전력계통 데이터  
Table 1. Transmission Data of HVDC system

정격 DC 전압	±180kV (1 p.u)
정격 DC 전류	±833A (1 p.u)
정격 DC 전송전력	300 MW (2 pole)
변환소 변압기	삼상 188MVA (Y-Y-Δ)
필터	각 터미널 당 4개의 27.5MVar, 154kv필터
동기 조상기	인버터 변환소의 70MVA 2대

제주-해남 계통에 투입되어 있는 HVDC는 정격 300MW, 100km의 해저 케이블 선로를 가지며, 한 Pole당 전압 180kV, 전류 833A의 Bipole 방식으로 구성되어 있다. 변환소 변압기는 용량이 188MVA이며 Y-Y-Δ결선으로 되어 있고 각 변압기의 변압비는 154kV/79.3kV/79.3kV이다. 또한 전력 변환 과정에서 AC계통에 발생하는 고조파(11,13차)를 줄이기 위하여 해남측(렉티파이어)에는 27.5MVar용량의 필터와 무효전력 보상을 위한 27.5MVar의 커패시터 뱅크가 설치되어 있다. 제주(인버터)측에는 고조파 필터와 무효전력 보상을 위한 동기 조상기 2기가 설치되어 있으며 Y-Δ변압기를 통하여 연결되어 있다. 컨버터에 설치된 사이리스터는 하나의 밸브당 해남측에는 46개의 사이리스터가 직렬로 연결되어 있으며 제주측에는 밸브당 48개의 사이리스터가 직렬로 연결되어 있다. 그림 1은 제주-해남 HVDC 직류연계 계통도이다. 실제적인 HVDC 시스템의 안정성을 고려하여 150MW를 수전량의 기준으로 하고 있다. 인버터식 무효전력보상기인 STATCOM을 HVDC 시스템이 연결되어 있는 154kV 모선에 설치하는 것을 가정하였다.

### 3. STATCOM 동특성

STATCOM은 인버터라고 불리는 DC-AC 전력변환기와 결합변압기로 구성되어 있으며 인버터와 교류계통 사이에 교환되는 무효전력의 양은 인버터 출력단의 전압크기를 변화시켜 조절된다. 그림 2는 STATCOM이 교류계통에 연결된 단상 등가회로를 나타낸 것이다. 인버터와 교류계통 사이의 유/무효전력 교환은 인버터 출력전압과 교류 단자전압 사이의 위상각을 변경하여 제어 가능하다. 만일 인버터전압  $V$ 와 교류측 단자전압  $V_T$ 가 동일한 위상각을 갖고  $V < V_T$ 이면, 교류계통은 인버터로 무효전력을 공급하고,  $V > V_T$ 이면 교류계통은 인버터로부터 무효전력을 공급받는다. 그리고 인버터의 출력전압과 교류전압이 동일하면 ( $V = V_T$ ) 무효전력의 출입은 0이 된다.

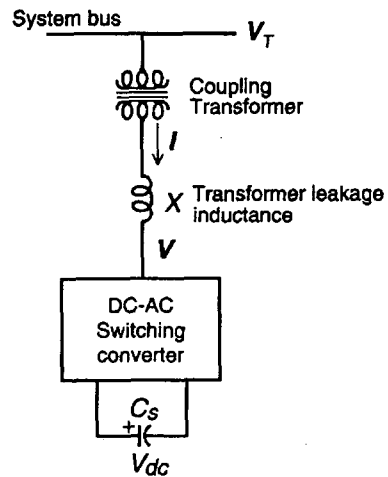


그림 2. STATCOM의 원리  
Fig. 2. Principle of the STATCOM

한편 인버터의 출력전압이 관련 교류전압보다 진상이면

인버터는 유효전력을 교류계통에 공급하고 이때 직류커패시터에 저장된 에너지가 계통으로 방출하여 인버터 출력전압은 감소하게 되며, 인버터의 출력전압이 교류전압에 대해 지상이면 교류계통으로부터 유효전력을 흡수하여 직류커패시터에 에너지를 저장하여 인버터의 출력전압은 상승하게 된다. 이러한 동작은 STATCOM이 진상에서 지상으로 또는 지상에서 진상으로 상태천이를 할 때 이루어진다.

그림 3은 STATCOM과 SVC의 단자전압과 보상전류의 특성을 하나의 V-I 곡선으로 나타내고 부하변동에 따른 단자전압의 변화를 부하선으로 표시한 것이다. 부하선 1은 보상기의 출력전류가 영일 때 정격전압에서 V-I 특성곡선과 교차하고, 부하선 2는 단자전압의 감소로 진상영역에서 V-I 특성곡선과 교차하며, 부하선 3은 단자전압의 증가로 지상영역에서 V-I 특성곡선과 교차한다. 부하선 2와 3이 수직축과 교차하는 점은 무보상시 단자전압의 변동을 나타내고 보상기의 V-I 특성곡선과 교차하는 점은 보상기의 단자전압을 나타낸다. 선형영역에서의 단자전압변동은 STATCOM과 SVC 모두 동일한 특성을 갖으나 단자전압의 변동이 커서 선형영역 밖에서 제어기가 동작할 경우 각 보상기는 전혀 다른 특성을 나타낸다.

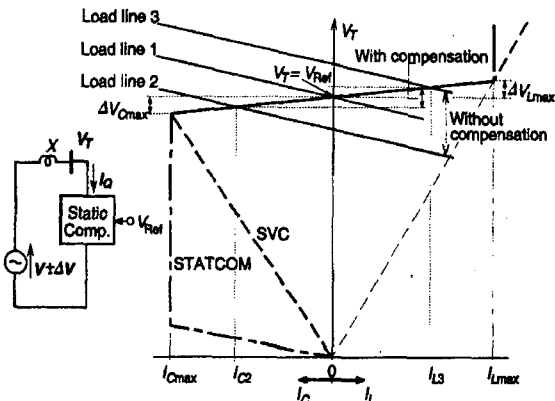


그림 3. STATCOM과 SVC의 V-I 특성곡선  
Fig. 3. V-I characteristic curve of STATCOM and SVC

정상동작영역에서의 보상기의 동적특성은 그림 4에 보인 시스템의 전달함수의 응답특성과 관계된다.

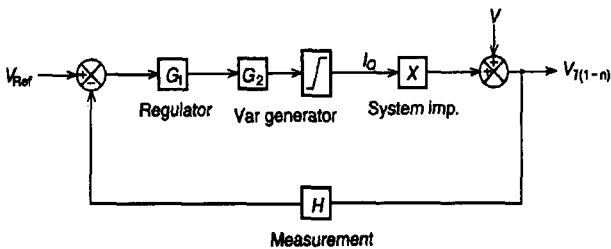


그림 4. 무효전력보상기의 전달함수 블록도  
Fig. 4. Transfer function diagram of Var compensator

단자전압  $V_T$ 는 보상기의 선형동작영역에서 내부전압  $V$ 와 기준전압  $V_{Ref}$ 에 대해 다음 수식과 같이 표현 가능하다.

$$V_T = V \frac{1}{1 + G_1 G_2 H X} + V_{Ref} \frac{G_1 G_2 X}{1 + G_1 G_2 H X} \quad (1)$$

제어의 목적은 단자전압이 시스템전압의 변동에 대해 적절히 조정되도록 하는 것이다. 만일  $\Delta V_{Ref}=0$ 이고 작은 변동만 가상한다면 시스템전압의 변동  $\Delta V$ 에 대한 단자전압의 변동  $\Delta V_T$ 는 다음 수식과 같이 표현된다.

$$\frac{\Delta V_T}{\Delta V} = \frac{1}{1 + G_1 G_2 H X} = \frac{1}{1 + G H X} \quad (2)$$

여기서,

$$G_1 = \frac{1/k}{1 + T_1 s} \quad (3)$$

$$G_2 = e^{-T_d s} \quad (4)$$

$$G = G_1 G_2 = \frac{1/k}{1 + T_1 s} e^{-T_d s} \quad (5)$$

$$H = \frac{1}{1 + T_2 s} \quad (6)$$

$T_1$ 은 PI 제어기의 시정수로 10-50ms 정도로 보상기의 전달지연상수에 의해 정해진다.  $T_2$ 는 크기 측정회로의 시정수로 약 8-16ms 정도이다.  $T_d$ 는 보상기의 전달지연상수로 SVC의 경우 2.5-5 ms 이고 STATCOM의 경우 0.5 ms 이다. X는 전력회로의 리액턴스이고 k는 전압조정 기율기 상수로 대략 1-5% 이다.

그림 5는 SVC의 TCR과 TSC, 그리고 STATCOM의 인버터가 갖는 전달지연 상수  $T_d$ 에 따라 제어전달함수  $e^{-T_d s}$ 의 주파수에 대한 위상각 변화를 나타낸 것이다. 이 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 인버터로 구성된 STATCOM은 TCR과 TSC로 구성된 SVC에 비해 위상변이가 180°에 도달하는 주파수가 10배나 크므로 제어기의 안정도가 높아 외란에 강한 특성을 갖는다.

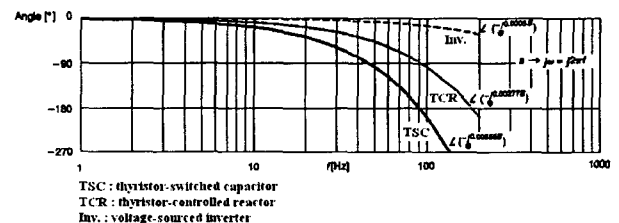


그림 5. SVC와 STATCOM의 위상-주파수 특성  
Fig. 5. Phase-Frequency characteristic of STATCOM and SVC

이상에서 설명한 바와 같이 STATCOM의 전압조정 제어 루프의 달성 가능한 응답시간과 밴드폭은 SVC의 값에 비해 대단히 빠르고 넓다. 전달지연 상수  $T_d$ 의 경우 STATCOM의 경우는 0.5ms 이나 SVC는 5.0ms 정도이다. 또한 STATCOM의 경우 제어의 밴드 폭이 넓어 고장이나 개폐

기 조작에 의한 송전선로의 임피던스 변화에 대해 제어기의 안정 운용이 가능하다.

STATCOM의 적용 타당성을 검토할 때 고려할 다른 요소가 외형의 크기와 설치에 관련된 사항이다. STATCOM은 계통의 무효전력을 제어 할 뿐 아니라 동기조상기와 마찬가지로 자체적으로 발생시킨다. 따라서 SVC와 같이 무효전력을 직접 생성 또는 흡수하기 위한 커패시터뱅크, 공심리액터, 차단기 등을 요하지 않아 외형이 40-50% 이상 감소하는 장점을 갖는다. 따라서 지가가 높은 지역에서는 설치면적의 감소에 따른 이득과 운용상 경제적 이득이 예상된다. 또한 설치 위치의 변경에 따른 이전도 용이하다.

4. 고장회복 과도해석

계통 사고시 STATCOM 설치로 인한 전압안정도 향상에 대한 분석을 하였다. 표 2는 제주 실계통 모델의 사고 조건을 나타낸 것이다. 제주 계통중 제주TP와 동제주간 선로에 3상 지락사고가 발생했을 때 STATCOM이 설치되지 않았을 경우와 설치되었을 경우로 시뮬레이션을 실시하였다. 이 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다. 시뮬레이션 결과에서도 알 수 있듯이 STATCOM이 설치된 경우가 계통의 전압안정도 측면에서 우수한 결과를 나타내고 있다. 표 3은 STATCOM 설치 전후의 제주 계통 각 154kV 모선의 전압을 나타낸 것이다. 또한 표 4는 계통에 STATCOM이 설치된 경우와 설치되지 않았을 경우에 사고 제거후 HVDC 시스템의 직류전력이 사고 전 전력의 80%까지의 회복시간을 나타낸 것이다.

특히, 그림 6의 시뮬레이션 결과로부터 세 가지 성능향상을 설명할 수 있다. 그림 6(e)는 제주 AC 계통의 여러 154kV 모선단 전압을 나타낸 것이다. 사고가 제거된 후 모선단의 정상적인 전압까지 도달하는 시간이 STATCOM을 설치했을 경우가 설치하지 않았을 경우보다 대략 두 배정도 빠른 것을 알 수가 있다. 이는 STATCOM이 계통의 과도안정도 성능이 우수하다는 것을 보여주고 있는 것이다. 또한 그림 6(f)는 STATCOM이 설치된 모선의 전압을 나타낸 것이다. STATCOM이 설치된 모선의 전압을 조절하는 자동전압제어를 수행하고 있기 때문에 STATCOM이 설치되지 않았을 경우보다 전압강하가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 그림 6(c)와 같이 사고 제거 후 정상적인 계통 주파수로의 수렴이 STATCOM을 설치했을 경우가 더 빠르고 주파수 변동폭도 더 작은 것을 확인할 수가 있다. 그림 6(h)는 표 4에 나타낸 직류전력 회복시간에 대한 결과를 보여주고 있다. 계통에 동기조상기만 설치되었을 경우 보다 STATCOM이 같이 설치되어 있는 경우가 사고 제거 후 HVDC의 직류전력 회복시간이 훨씬 더 빠른 것을 알 수가 있다. 이것은 STATCOM이 동기조상기보다 속응성이 뛰어나다는 것을 보여주는 결과이다.

표 2. 사고 조건

Table 2. Fault condition

종류	지속시간	위치
3상 지락고장	0.1초	제주TP-동제주간 선로

표 3. 제주 AC 계통의 154kV 모선전압[p.u.]

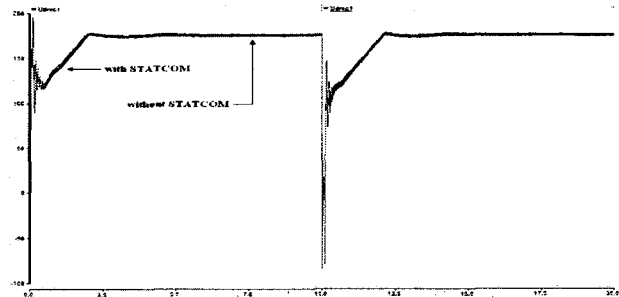
Table 3. Bus voltage of cheju AC power system

154kV 모선번호	without STATCOM	with STATCOM
120	0.9	0.95
121	0.9	0.95
160	0.89	0.94
140	0.89	0.94
150	0.89	0.94
170	0.89	0.94
180	0.89	0.94
190	0.89	0.94
121 C/S	0.89	0.94

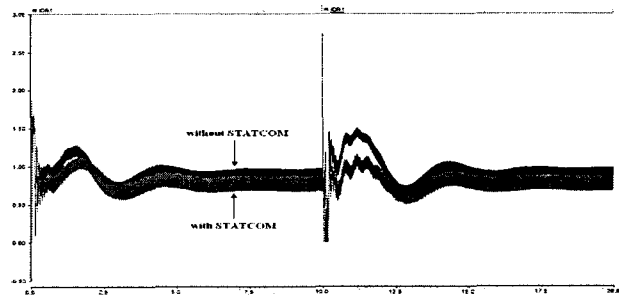
표 4. 사고제거 후 직류전력 회복시간

Table 4. Recovery times of the dc power

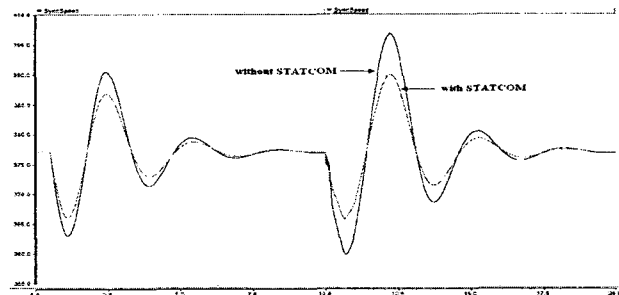
SC(동기조상기)	SC + STATCOM
500ms	900ms



(a) 직류전압



(b) 직류전류



(c) 계통주파수

5. 무효전력수급 과도해석

저단락 계통에서의 무효전력 수급 최적화 기법을 제주 실 계통에 적용한 결과를 EMTDC 시뮬레이션을 통해서 분석 하였다. 제주 실계통에서의 무효전력 수급 최적화 운전안 모의는 다음과 같은 시나리오로 실시하였다.

- ① 기존의 방식대로 필터, 동기조상기가 분담하여 무효전력을 공급하는 경우
- ② 무효전력 공급을 STATCOM, 필터, 동기조상기가 서로 분담하는 경우

무효전력 수급 최적화 기법의 필터 스위칭은 그림 7과 같이 HVDC가 전송하는 전력을 150[MW]에서 64[MW]로 그리고 다시 82[MW]로 변경한 경우로 나누어서 시뮬레이션을 실시하였다.

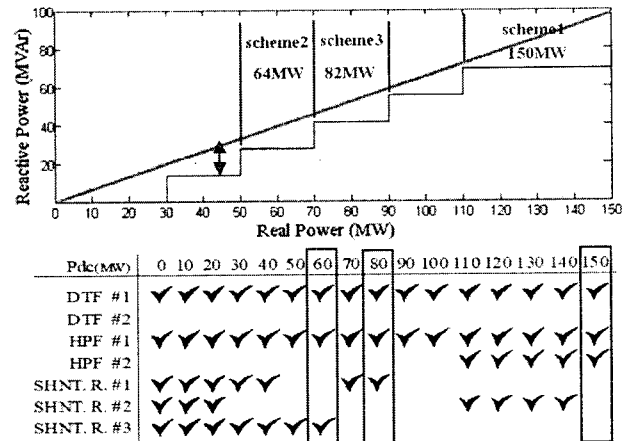


그림 7. 무효전력 수급 최적화 스위칭 기법  
Fig. 7. New reactive power compensation scheme

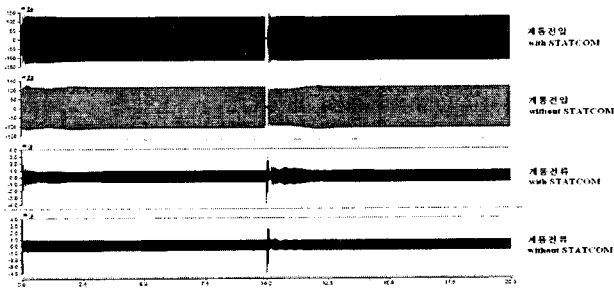
무효전력 수급 최적화 운전안 모의를 위한 시뮬레이션 시나리오는 표 5와 같이 설정하였다. 표 5에서 DTF는 Double Tuned Filter, HPF는 High Pass Filter, SHNT. R은 Shunt Reactor를 의미한다.

표 5. 시뮬레이션 시나리오  
Table 5. Simulation scenario

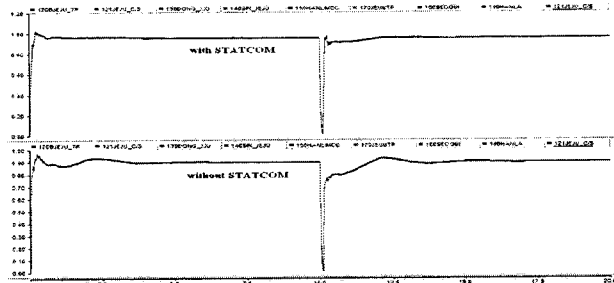
시간[초]	0~12	12~14	14~18
HVDC 공급전력	150[MW]	64[MW]	82[MW]
스위칭 필터	DTF #1, HPF #1,2	DTF #1, HPF #1, SHNT. R. #2	DTF #1, HPF #1, SHNT. R. #1

5.1 기존의 방식대로 병렬캐패시터, 동기조상기가 분담하여 무효전력을 공급하는 경우

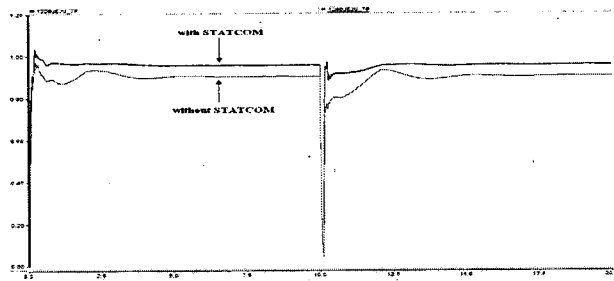
무효전력 수급 최적화를 위해서 기존의 HVDC 시스템에



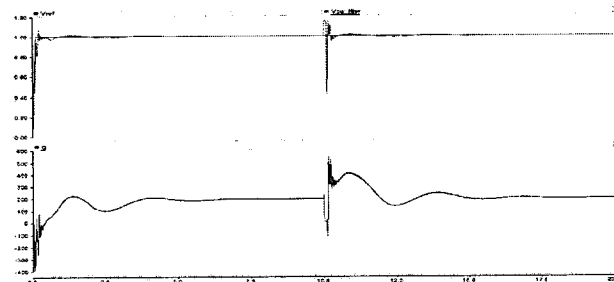
(d) 계통전압 및 전류



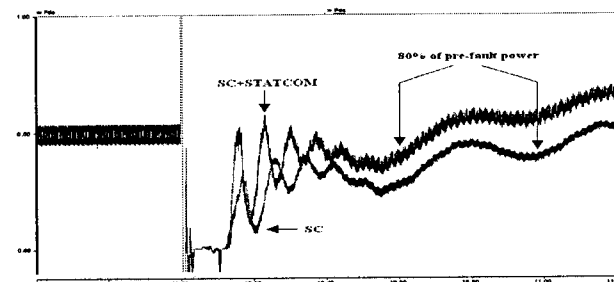
(e) 제주계통 모선 전압의 RMS



(f) STATCOM이 설치된 120번 모선 전압의 RMS



(g) STATCOM의 모선전압 기준값과 실측값, 주입 무효전력

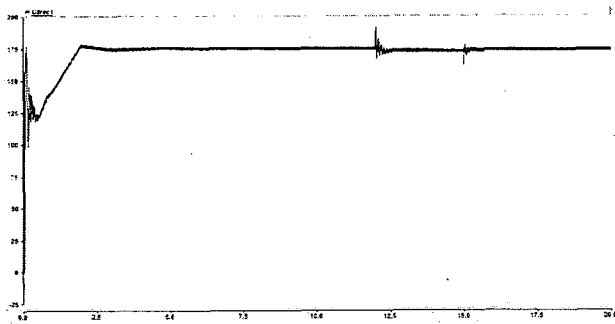


(h) 사고 제어 후 직류전력 회복 특성

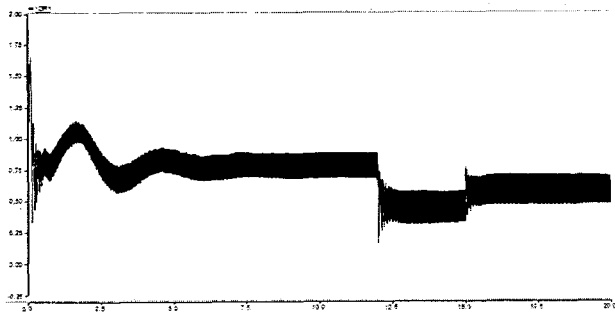
그림 6. 제주 AC 계통 사고 분석  
Fig. 6. Fault analysis of cheju AC power system

설치되어 있는 필터(DTF, HPF, Shunt Reactor)와 동기조상기가 HVDC 전력공급량에 따라 필요한 무효전력을 공급하도록 하였다. HVDC의 공급 유효전력에 따른 무효전력의 필요량을 공급하기 위해서 필터를 투입, 차단함에 따라 계통에 과전압이 발생한다. 그림 8은 무효전력 수급 최적화 운전안 모의를 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

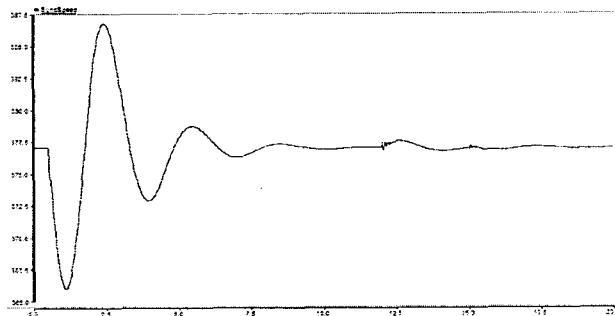
그림 8(a)와 (b)는 HVDC의 직류전압과 직류전류를 보여주고 있다. 무효전력 수급 최적화 스위칭 기법에 따라 HVDC 전송전력을 변화시키고 있음을 알 수 있다. 따라서 전송전력에 따라 요구되는 무효전력을 필터와 동기조상기가 공급하게 된다. 그림 8(c)는 전송전력 변화에 따른 계통 주파수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 8(d)는 HVDC의 인버터측 계통에 설치되어 있는 필터와 동기조상기에 의해서 공급되고 있는 무효전력을 나타낸 것이다. 그림 8(e)는 인버터측 계통전압과 전류를 나타낸 것이다. 그림 8(f)는 계통전압을 실효값으로 나타낸 파형이다. 그림 8(g)의 파형에서 알 수 있듯이 무효전력 수급 최적화 스위칭 기법에 따라 필터를 투입·차단함으로써 계통에 과전압이 정상적인 계통전압에 대해서 0.1 p.u. 이상으로 발생하고 있음을 알 수가 있다.



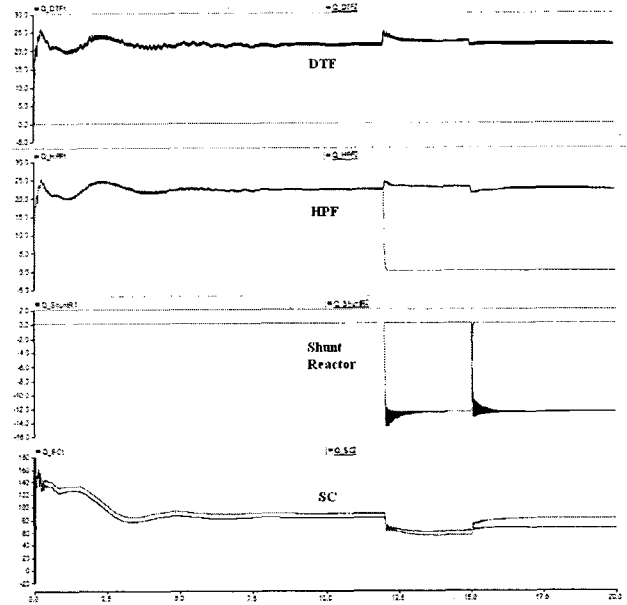
(a) 직류전압



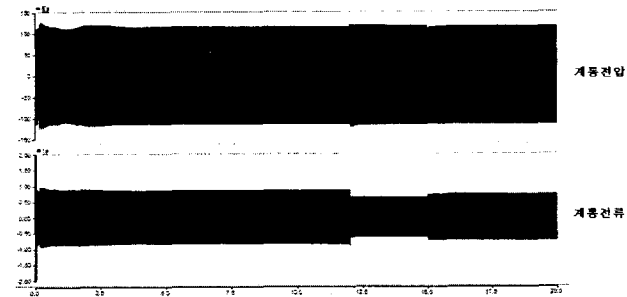
(b) 직류전류



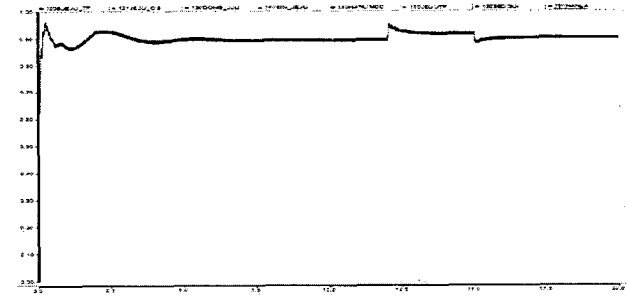
(c) 계통주파수



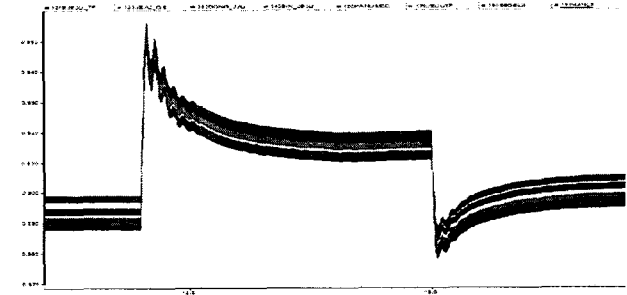
(d) 필터와 동기조상기가 공급하는 무효전력



(e) 계통전압 및 전류



(f) 계통전압의 RMS 값



(g) 계통전압의 실효값의 확대파형

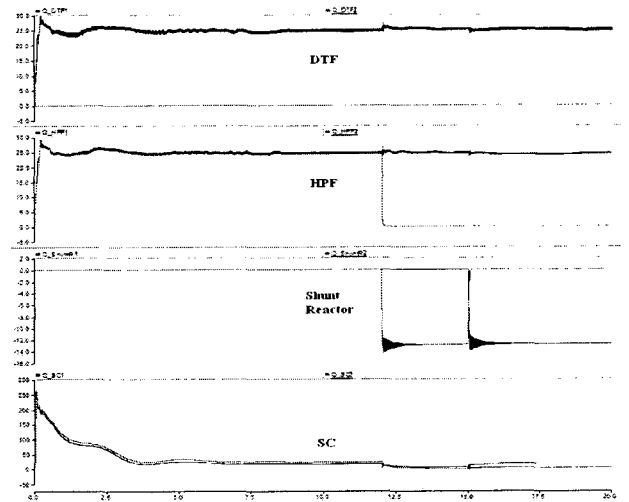
그림 8. 제주계통의 무효전력 수급 최적화 운전안(모의 시나리오①)

Fig. 8. Simulation results of simulation scenario ①

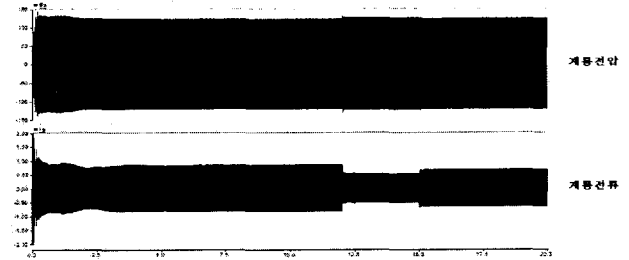
**5.2 무효전력 공급을 STATCOM, 필터, 동기조상기가 서로 분담하는 경우**

그림 9는 제주 계통에 STATCOM을 설치했을 경우의 무효전력 수급 최적화 운전안 결과를 보여주고 있다. STATCOM이 계통전압 안정도 향상을 위해서 자동전압제어를 수행하고 있으므로 부하량 변화시나 무효전력공급을 위한 필터의 기계적인 스위칭 작용으로 인한 과전압 발생시 빠른 속도로 계통의 전압을 안정화시키고 있음을 그림 9의 결과로 알 수가 있다.

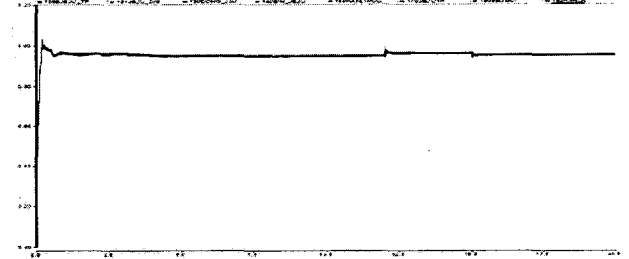
그림 9(a)와 (b)는 HVDC의 직류전압과 직류전류를 보여주고 있다. 전송전력에 따라 요구되는 무효전력을 필터와 동기조상기, 그리고 STATCOM이 공급하게 된다. 그림 9(c)는 전송전력 변화에 따른 계통 주파수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 9(d)는 HVDC의 인버터측 계통에 설치되어 있는 필터와 동기조상기에 의해서 공급되고 있는 무효전력을 나타낸 것이다. 그림 9(e)는 인버터측 계통전압과 전류를 나타낸 것이다. 그림 9(f)는 계통전압을 RMS 값으로 나타낸 파형이다. 그림 9(g)의 파형에서 알 수 있듯이 무효전력 수급 최적화 스위칭 기법에 따라 필터를 투입·차단함으로써 계통에 과전압이 STATCOM의 전압안정도 제어에 의해서 정상적인 계통전압에 대해서 0.1 p.u. 이하로 발생하고 있음을 알 수가 있다. 그림 9(h)는 STATCOM의 자동전압제어에 의해서 계통전압을 1p.u.(154[V]기준)로 유지시키고 있음을 보여주고 있다. 이 때 STATCOM이 계통에 공급하는 무효전력을 그림 9(i)에 나타내었다.



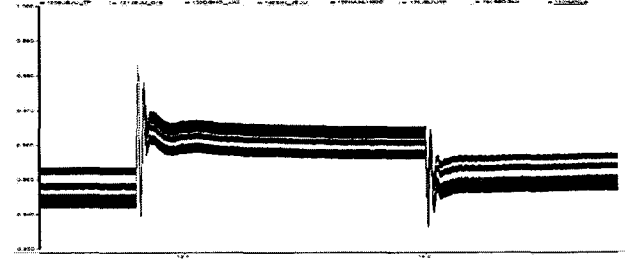
(d) 필터와 동기조상기가 공급하는 무효전력



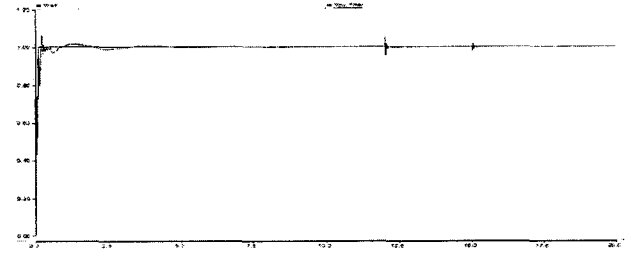
(e) 계통전압 및 전류



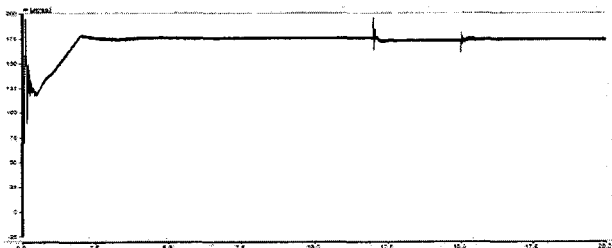
(f) 계통전압의 RMS 값



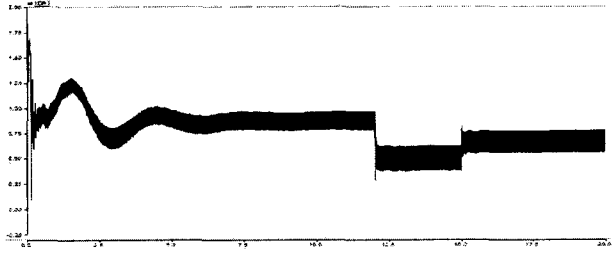
(g) 계통전압의 RMS 값의 확대 파형



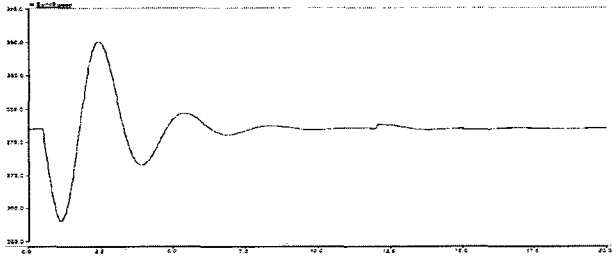
(h) STATCOM 제어기의 모선전압 기준값과 실측값



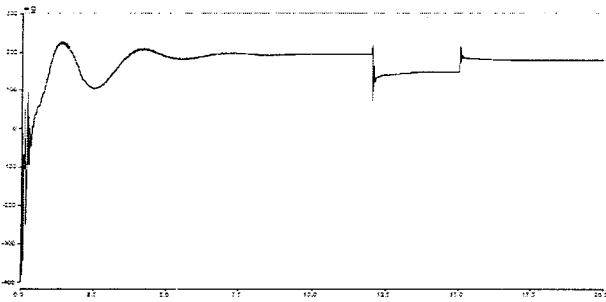
(a) 직류전압



(b) 직류전류



(c) 계통주파수



(i) STATCOM의 주입 무효전력

그림 9. 제주계통의 무효전력 수급 최적화 운전안(모의 시나리오②)

Fig. 9. Simulation results of simulation scenario ②

### 6. 결 론

본 연구에서는 저단락비 교류계통과 연계된 제주-해남 HVDC 시스템에서 동적성능개선을 위한 무효전력공급방안의 하나로 STATCOM을 설치하여 운용할 때 그 효과를 분석한 내용을 기술하였다.

본 연구에서는 동적성능 개선효과를 분석하기 위해 먼저 PSCAD/EMTDC를 이용해 STATCOM을 포함한 제주-해남 HVDC 시스템의 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 모델을 이용하여 전송유효전력의 급작스런 변동에 대한 무효전력의 과도보상특성을 분석하고 고장에서 회복될 때 계통이 요구하는 무효전력의 과도보상특성을 분석하였다.

시뮬레이션결과를 통하여 STATCOM은 부하변동에 따른 과도무효전력보상과 고장회복 시 요구되는 과도무효전력을 신속하게 공급함으로써 저단락비 교류계통인 제주지역 교류계통의 주파수제어에 대단히 유효함을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 한국전력공사의 전력산업연구개발사업 위탁기술개발 과제 “부하집중지 송전용량 증대 방안” 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. R. C. Mamander, "Emergency Adjustment to Var Control to Alleviate Over-Voltages, Under-Voltages, and Generator Var limit Violations", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.5, pp.1040-1047, 1982..
- [2] O. B. Nayak, A. M. Gole, D. G. Chapman, and J. B. Davies, "Dynamic performance of static and synchronous compensators at an HVDC inverter bus in a very weak ac system," IEEE Trans. Power Syst., vol. 9, pp. 1350-1358, Aug. 1994.
- [3] Y. Zhuang, R. W. Menzies, O. B. Nayak, and H. M. Turanli. "Dynamic performance of a STATCOM at an HVDC inverter feeding a very weak ac system." IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, pp. 958-964, Apr. 1996.
- [4] C. Schauder, M. Gernhardt, T. Cease, and A. Edris, "Operation of +/- 100 MVar TVA STATCOM" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October, 1997.
- [5] D. Trainer, S. Tennakoon, and R. Morrison, "Analysis of GTO-based static var compensator," IEE Proceedings on Electric Power Application, Vol. 141, No. 6, November. 1994.
- [6] B. Han, G. Karady, J. Park, S. Moon, "Interaction analysis model for transmission static compensator with EMTP", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, October, 1998.
- [7] B. R. Andersen, J. L. Haddock, R. Burgess, and S. I. Kim, "Korean mainland to Cheju island HVDC link," Modern Power Systems, Apr. 1994.
- [8] 김찬기, "제주-해남 HVDC 시스템의 과도특성 분석," 대한전기학회 논문지 49B권 9호, pp 607-617, 2000년 9월.



저 자 소 개



**백 승택 (白承澤)**

1971년 11월 24일생.  
1997년 명지대 전기공학과 졸업.  
1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학).  
현재 명지대 차세대전력기술연구센터  
전임연구원.

Tel : 031-333-1542  
FAX : 031-321-0271  
E-mail : baekst@mju.ac.kr



**추 원교 (秋元 敎)**

1974년 2월 23일생.  
1999년 명지대 전기공학과 졸업.  
현재 명지대 전기공학과 석사과정 및  
동아일렉콤 연구원.

Tel : 031-335-6563  
FAX : 031-321-0271  
E-mail : feelingchoo@hanmail.net



**한 병문 (韓炳文)**

1953년 7월 5일생.  
1976년 서울대 전기공학과 졸업.  
1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기  
공학과 졸업(석사).  
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학).  
미 Westinghouse중앙연구소 선임연구원.  
현재 명지대 전기공학과 교수

Tel : 031-330-6366  
FAX : 031-321-0271  
E-mail : erichan@mju.ac.kr



**장 길수 (張吉洙)**

1967년 10월 26일생.  
1991년 고려대 전기공학과 졸업.  
1994 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)  
1997년 Iowa 주립대. 전기 및 컴퓨터공학  
과 졸업(공학)

2000년~현재 고려대 전기공학과 부교수  
Tel : 02-3290-3246  
FAX : 02-3290-3692  
E-mail : gjang@korea.ac.kr