

서대구 SVC의 EMTDC 모델 개발

김동현\* 손광명 이태기  
동의대학교 전기공학과

윤용범  
전력연구원

이진  
LG 산전

장길수  
고려대학교 전기공학과

Development of EMTDC model for Seo-deagu SVC

D.H.Kim K.M.Son T.G.Lee Y.B.Yoon J.Lee G.S.Jang  
Donguei Univ. KEPRI LG Industrial Systems Korea Univ.

**Abstract** - Recently a static var compensator (SVC) is installed at Seo-deagu Substation. It is a power system controller using power electronics commonly called Flexible AC Transmission Systems(FACTS). This paper presents the characteristics and configuration of the Seo-deagu SVC. This paper discusses the modeling aspect of the Seo-deagu SVC systems. EMTDC simulation model of the Seo-deagu SVC is developed and verified.

- 공칭 주파수 : 60Hz
- 연속운전을 위한 최대 주파수 편차 : ±0.5Hz
- 최대 단락회로 용량(3상) : 23902MVA
- 정격 연속 용량성 무효전력 : 100MVar(1.0 pu)  
(VI diagram에서의 2점)
- 정격 연속 유도성 무효전력 : 110MVar(1.05 pu)  
(VI diagram에서의 5점)
- 정격 유도성 무효전력 : 100MVar(1.0 pu)  
(VI diagram에서의 3점)
- 전압 기준치 +/- 10% : 324 - 356kV
- slope 지정치 범위 : 1 - 10%

1. 서 론

현재 전력계통은 전력수요의 지속적인 성장에 따라 송전선로 장거리화, 송전선로의 용량부족 등은 전력계통의 안정도 문제와 직결되어 안정도 여유의 감소와 이로 인한 제어의 어려움과 예기치 못한 사고 발생시 계통전체에 심각한 안전성에 위협을 초래하게 된다. 이러한 문제에 능동적으로 대처하기 위한 효과적이고도 경제적인 해결책으로 FACTS (Flexible AC Transmission System)기술이 주목받고 있다. FACTS기술 중 SVC는 전세계에 상용 운전 중이며 기존의 송전계통의 전압 조절에 이용되는 동기조상기에 비해 가격이 싸고, 신속 정확한 전압제어를 수행하며, Shunt elements (병렬 리액터와 커패시터)의 기계적 스위칭에 의한 과도현상과 함께 갑작스러운 전압 변동을 유발하지 않는다[1,2,3]. 우리나라 경우 한전계통에는 1999년 서대구 변전소에 설치되어 운용중이다[4,5]. 이와 관련하여 한전 계통에 설치된 서대구 SVC의 구성 및 특성을 분석하여 SVC 제어시스템의 EMTDC 모델을 개발하였다. 또한 개발된 SVC 제어시스템의 타당성을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다.

2. 본 론

2.1 서대구 SVC 시스템의 특성

서대구에 설치된 SVC는 ABB에 의해 제작되었으며 다음과 같은 구성되어 있다 [4].

- 결합용 변압기 : 345/13.5kV, 3상 105MVA, ex = 10%, Y/Δ
- TCR(Thyristor Controlled Reactor): 100MVar, 리액터 L = 13.05 mH/Δ
- TSC(Thyristor Switched Capacitor): 100MVar 콘덴서 C = 422.9μF/Δ, 리액터 L = 0.82 mH/Δ

SVC는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계 되었다.

- 정격 1차 전압 : 345kV, 3상, 60Hz (1.0 p.u.)
- 최대 연속 1차 전압 : 362kV(1.05 pu)
- 최소 연속 1차 전압 : 313kV(0.91 pu)
- 최대 1차 전압(TCR 제어가능):449kV(1.3 pu)

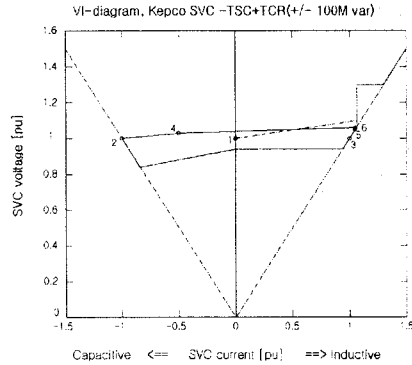


그림 1. 서대구 SVC의 운전영역

서대구 SVC의 운전 조건은 그림 1에서와 같다. 운전점 1은 무부하 조건으로서 무부하시 1차측 단자전압이 345kV를 유지하도록 되어 있다. 운전점 2,3은 각각 SVC가 유도성과 용량성으로 낼 수 있는 최대용량을 나타내는 것으로서 각각 1차측 전압이 345kV 인 경우 ±100MVar를 낼 수 있도록 설계되어 있다. 운전점 4는 2차측 전압 한계점에 의해 SVC가 낼 수 있는 용량성 무효전력의 제한치를 말하는 것이다.

2.2 주회로 구성

SVC는 단로기와 1/2스킵의 차단기를 통해 서대구 변전소 345kV 모선에 연결된다. 345kV 쪽에는, 상-대지 간 연결된 3개의 피뢰기와 3개의 단상 변압기가 놓여진다. 주변압기는 고압측과 중성점 부싱사이의 wye/delta 결선 권선 구조이며, 변류기가 설치되어 있다. 345 kV 중성점 단자는 단상 단로기와 피뢰기가 함께 제공된다. 변압기 13.5 kV측에는, 역시 3개의 피뢰기와 상-대지 간에 단상 변압기가 설치된다. 또한 고주파 서지로부터 13.5 kV급 설비보호를 위해, 상-대지간에 3개의 서지 캐패시터가 설치된다.

2.2.1 싸이리스터 제어 리액터(TCR)

- TCR은 상단 2개의 리액터 사이에 1개의 싸이리스터 밸브가 놓인 구조로 되어 있다.
- 각 상은 델타결선이고, 6000A 단로기를 통해 13.5 kV SVC 모선에 연결된다.
- 싸이리스터 밸브의 위상각 제어에 의해, 리액터의 무효 전력 출력값이 0에서 최대까지 연속적으로 제어된다.
- 선택된 2차전압으로부터 여분의 하나의 유닛을 포함한 총 8개의 싸이리스터를 직렬로 연결하는 최적의 구조로 설계되어 있으며, 밸브의 연속 전류 용량은 3.0kA이다.
- TCR 유닛은 계통 1차 전압이 1.1085 pu(382kV)까지 연속적으로 운전되도록 설계되었으며, 이것은 전압 기준치 1.0 pu이고 최대의 slope와 완전도동된 TCR 밸브(VI diagram에서 1점에서 출발한 점선이 오른쪽 점선과 만나는 점이 된다.)일 때에 해당된다.
- TCR 유닛은 1초 동안 1.30 pu(449kV)까지 완전히 제어가능하다.

### 2.2.2 싸이리스터 스위칭 캐패시터(TSC)

- TSC유닛은 델타 구조이고, 각 지선마다 싸이리스터 밸브, 캐패시터 뱅크, 1개의 한류(damping) 리액터로 구성되어 있다.
- TSC의 지선은 6000A 단로기를 통해 SVC모선에 연결되어 있다. 또한 조정과 보호목적으로 델타 결선의 안쪽과 바깥쪽에 변류기가 설치된다.
- 캐패시터 뱅크는 위상각 제어를 통해 연속적으로 제어되진 않지만, 투입 및 제거는 가능하다. 이러한 스위칭 동작은 심각한 스위칭 과도 현상을 피하기 위해 전류값이 영점 통과시에 가까울 때 이루어진다.
- 캐패시터 내의 고장 감지와 이의 과전압으로부터의 보호를 위해, 불평형 감지방식이 사용된다.
- TSC도 2차 전압으로부터 2개의 여분을 포함하여 총 18개의 싸이리스터로 구성되게 설계되었다. 싸이리스터 밸브의 전류 용량은 3.0kA이다.
- TSC의 투입과 제거를 가능하게 하기 위해 스위칭 되는 TSC 지선의 서셉턴스가 TCR 지선의 서셉턴스보다 작게 되도록 되어 있다.

## 2.3 서대구 SVC의 제어시스템

SVC제어시스템은 SVC 상태와 전원 장치를 연속적으로 감시하는 computer로 구성되어 있다. 제어 장치는 철저히 주, 부의 이중구조로 되어 있고, 한쪽 고장 시 자동으로 전환 된다. 두개의 systems은 동일하며, 어느 쪽이든 주(master)운전이 가능하다. 제어시스템은 아래와 같다.

### 2.3.1 Sequence control

이 기능은 주차단기, disconnectors 및 고정 reactive banks의 차단기의 스위칭을 제어한다. 또한, SVC의 자동 기동과 정지, 안전 운전을 위한 필요한 interlocking 기능도 포함한다.

### 2.3.2 Var control

이 기능은 전원 계통이 요구하는 무효 전력의 출력을 제한한다. 여기엔 3가지 운전 mode가 있다.

- **automatic control (자동운전) mode**  
 통상, 345kV 모선 전압은 voltage feed back에 의해 제어된다. 요구 전압치 'voltage reference'는 'Increase' 또는 'Decrease' 조작에 의해 OWS에서 수동으로 입력(setting)된다. 이 setting은 324kV에서 355kV까지의 (0.94-1.03 p.u. on 345 kv base) 값을 가질 수 있다. 기용기 값도 100 Mvar기준으로, 0에서 10%사이 값을 가질 수 있다. TSC의 스위칭 in, out시 발생할 수 있는 불안정 상태를 피하기 위해, 제어 알고리즘에 hysteresis가 있다.

### • manual control(수동운전) mode

345kV모선으로 부터의 feed back은 없다. 원하는 Mvar출력은 'Increase' 또는 'Decrease' 조작에 의해 'susceptance reference(B-ref.)'에 의해 제어된다. 전압값은, 출력값의 변화 없이 자동운전모드로 절체 준비되도록 자동으로 실전압값을 따른다. 같은 방식으로 B-ref.는 과도현상 방지를 위해 수동운전모드에서의 스위칭이 가능하도록 자동운전모드에서의 실출력값을 따른다. 시스템 전압이 기 설정된 범위를 벗어나면, 수동운전 모드는 선택이 해제되며, 자동으로 자동운전모드로 전환된다. 제어기능이 전압 응답신호를 잃으면, 제어기능은 자동으로 강제수동운전모드로 된다. 이 경우, 절환시 제어각은 유지된다. 출력을 변화 시켜야 할 경우, 위의 수동운전모드처럼 하면 된다.

### • Gain optimizer(이득 최적화 기능)

계통이 회복되었을 때, gain 감시 동작후의 gain값을 자동적으로 이전 값으로 되돌린다. 실제계통 조건에 gain 값을 조정하기 위해 주기적인 체크도 행해진다. 이 자동 제어기능도 해제될 수 있고, gain값은 OWS에서 수동으로 재설정될 수 있다. 자동운전모드에서 slow susceptance control 기능은 OWS에서 활성화 될 수 있다. 이 기능은 SVC를 선택된 안정상태(steady state)의 Mvar 출력으로 천천히 되돌린다 (통상 유도성으로). 이로 인해 SVC는 갑작스러운 우발상황에도 빠르게 완전하게 대응할 수 있다.

### • 외부 캐패시터 및 인덕터 뱅크

제어시스템은 또한 (1×50+10×5 Mvar)캐패시터와 (8×30Mvar)인덕터 뱅크를 제어할 수 있는 능력이 있다. 요구되는 무효 전력값이 5분 이상 설정된 값을 초과하면 이용 가능한 뱅크가 자동적으로 연속 스위칭된다. SVC는 이 기능에 의해 통상 그의 영점(zero point)에 가깝게 운전될 수 있다.

## 2.4 EMTDC 모델 개발

### 2.4.1 SVC 배분로직 관련 모듈 개발

SVC의 투입량을 결정하기 위해 동작되는 모듈이며 SVC 제어시스템 주요부에서 오는 BREF 신호를 입력으로 하여 실제로 TSC가 투입될 것인지 그리고 TCR의 출력량을 결정하는 부분이다. 이 부분은 히스테리시스 특성을 가지고 있는데 이것은 TSC가 과도하게 자주 투입 및 제거되는 것을 방지하기 위한 것이다.

### 2.4.2 외부뱅크 부분 개발

서대구 SVC와 기존에 설치되어 있는 외부 리액터 및 캐패시터 뱅크는 상호 협제어 되도록 설계되어 있다. 이것을 이해하기 쉽게 도식적으로 표현하면 그림 2와 같다. 외부 뱅크는 각각 Slow 및 Fast 모드로 동작할 수 있으며 각 모드를 상용하는 시간 지연요소의 값이 그림 2의 표에 표시되어 있다. SVC의 운전은 그림에서 점선으로 표현한 것과 같이 히스테리시스 부분을 가지고 있는데 이것은 TSC가 과도하게 자주 투입 및 제거되는 것을 방지하기 위한 것이다.

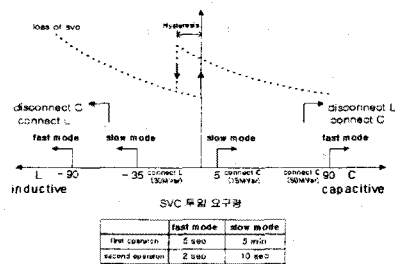


그림 2. SVC 및 외부 뱅크의 동작 방식

### 2.4.3 제어시스템 주요부

SVC 제어시스템의 주요부분을 분석하여 제어시스템의 핵심부분을 블록도 형태로 나타내면 그림 3과 같다.

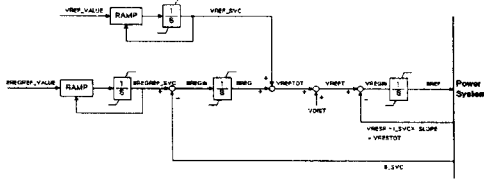


그림 3. SVC 제어시스템의 주요부

그림 3에서 보듯이 제어시스템으로 입력되는 지령치는 VREF\_VALUE 와 BREGREF\_VALUE 다음의 두 값으로서 SCM으로부터 변경될 수 있다. 이들신호는 주로 BREGREF, SLOWBREG, VREF, VOLTREG 모듈들에서 처리되며, 전력시스템의 전류와 전압 및 서셉턴스 값으로 피드백되는 페루프 제어시스템을 이룬다.

## 2.5 시뮬레이션 결과

### 2.5.1 SVC 기동 및 정지

SVC의 기동은 auto mode와 manual mode가 있으며, 통상적으로 auto mode로 기동하며 manual mode로 기동시에는 susceptance reference(B-ref.)에 의해 제어된다.

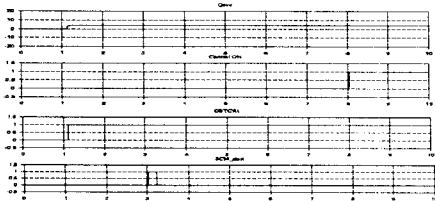


그림 4. Manual mode Start

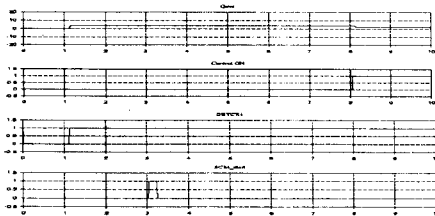


그림 5. Auto mode Start

SVC의 두 가지 mode로 정지될 수 있다. normal

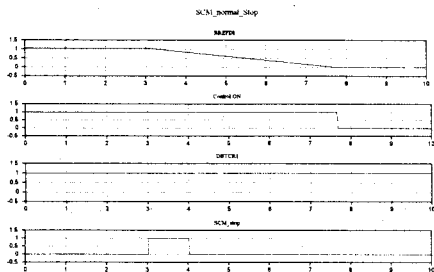


그림 6. Normal mode Stop

mode는 자동 정지 sequence가 활성화되고 차단기가 열리고 마지막으로 cooling system이 정지된다. instantaneous mode는 trip이 발생시 BREFDI를 순간적으로 차단한다. 본 시스템에서는 생략되었다.

### 2.5.2 VI 특성곡선

SVC 특성곡선의 slope를 2%와 10%로 각각 설정하여 시뮬레이션한 결과를 그림 7과 8에 도시하였다. 그림에서 보듯이 slope이 클수록 기울기가 커짐을 볼 수 있다.그림의 특성곡선 중 돌출된 부분은 TSC투입에 따른 과도현상 때문이다.

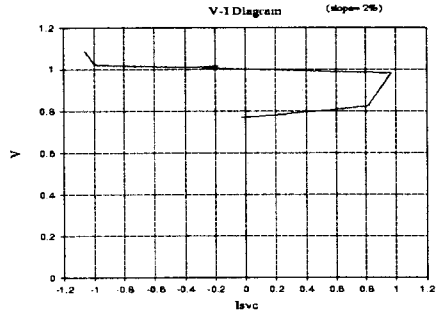


그림 7. VI특성곡선 (slope=2%)

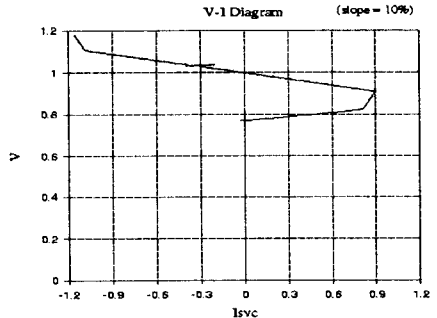


그림 8. VI특성곡선 (slope=10%)

## 3. 결 론

본 논문에서는 한전계통에 설치되어 운용중인 서대구 SVC의 특성 및 구성과 제어시스템의 기능을 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 현재 개발중에 있는 서대구 SVC 제어시스템의 EMTDC모델에 관하여 기술하였고, 이를 검증하기 위하여 기동, 정지 시퀀스와 VI특성을 검토하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, Reactive Power Control in Electric Systems, John Wiley & Sons, 1982.
- [2] 손광명, "전력계통의 동적 전압안정도 개선을 위한 SVC와 ULTC의 효율적 협조제어에 관한 기초연구", 97-지-08, 기초전력공학연구소 연구보고서, 1998.9.
- [3] CIGRE Working Group 38-01: Task Force No. 2 on Static Var Compensators, 1986
- [4] ABB, Seo-Daegu SVC Training Manual, 1999
- [5] 윤중수, 장병훈, 원종률, 전영수, 오관일, 장길수 "서대구 SVC의 기기구성방식 및 특성에 관한 조사" 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 1999.11