

# 역률제어용 무효전력 보상설비 모델 개발

최호석  
LS산전

## Development reactive power compensation system model for power factor

Choi Ho Seok  
LSIS

### ABSTRACT

전압 안정도를 향상 시키고 무효전력을 보상하는 방법 중 하나로 정지형 무효전력보상설비(SVC, Static Var Compensator)를 사용한다. 특히, 전기로(EAF, Electric Arc Furnace) 등 비선형 부하가 주를 이루는 철강 민수 사업자의 부하는 단시간 내에 전류 변화가 급격히 일어나며 큰 전압 변동을 일으키므로 무효전력 보상설비를 적용하여 안정적인 전력을 공급하고 전력 품질을 확보해야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 LS Nikko 동제련 온산 공장에 역률 보상을 목적으로 무효전력을 제어하기 위한 ±100[MVar] SVC 시스템 모델을 소개하고, 그 특성에 대한 이해를 돕고자 한다.

### 1. 서 론

SVC는 전력용 반도체 소자인 Thyristor를 이용하여 병렬 콘덴서나 리액터를 접속 제어하여, 무효전력 또는 전압을 신속히 제어하는 시스템 설비이다. 초기의 SVC 시스템은 아크로나 제철소의 플리커(Flicker), 역률 보상, 고조파 저감 등을 목적으로 개발되어 손실감소, 가용전력 증가, 생산성 향상을 도모하였고, 대응량화가 추진됨에 따라 계통 안정화를 위해 송전 선로에도 확대 적용 되었다. 주요 특징으로 응답특성이 빠르며 조작에 제한이 거의 없고, 신뢰성이 높으며 유지보수가 간단하고, 조작성이 뛰어나다.

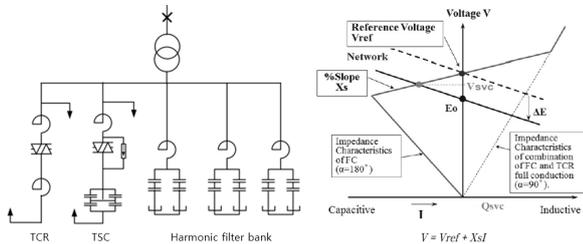


그림 1 SVC 대표적 구성 및 V-I 특성  
Fig. 1 Typical SVC configuration and V-I characteristics

SVC 시스템 구성은 일반적으로 제어의 유무와 지상/진상 무효전력 공급에 따라 TCR<sup>1)</sup>, TSC<sup>2)</sup>, FC(Fixed Capacitor)로 구분된다. 표1에 SVC 기기 구성에 따른 특성을 기술하였다.

1) TCR : Thyristor Controlled Reactor  
2) TSC : Thyristor Switched Capacitor

표 1 SVC 기기 구성 비교  
Table 1 Compare with TCR and TSC

	TCR	TSC
회로		
기능	연속적 지상무효전력 공급	단계적 진상무효전력 공급
구성	Reactor + Bi directional thyristor	Capacitor Bank + Bi directional thyristor
특성	연속가변 점화각 제어 0°(최대)~180°(최소) 0~90° 제어 시 고조파 전류(DC offset 포함) 발생 1/2 Cycle 점호제어 (6Pulse)	Capacitor 전류 0인 시점 (전압 peak시 : 90°) 단자전압(U) = Capacitor 단자 전압(Uc) 동일극성 (개폐 Surge 최소화) 1/2 Cycle 점호제어 (6Pulse)
기타		고조파 필터 겸용 다수의 Bank 적용 가능 각 Bank 개별 개폐

이러한 무효전력 보상의 기본 개념을 바탕으로 본 논문에서 소개하는 SVC 시스템은 비선형 부하가 주를 이루는 제련 공장(LS Nikko 동제련 온산공장)을 적용대상 시스템으로 하고, 그 부하특성을 실측 기반으로 분석하여 TCR+TSC 구조의 ±100[MVar] 용량 SVC 시스템을 소개하고 모델링을 통하여 시스템의 주 제어 특성을 확인한다.

## 2. SVC System

### 2.1 시스템 해석

#### 2.1.1 계통해석

시스템 설계를 위한 대규모 계통 및 SVC 적용대상 시스템 해석은 IEC60090을 기반으로 PSS/E 시뮬레이션을 통해 고장 계산을 수행하였고, 특히 1/2 cycle 기준의 배전급 고장계산이 가능한 EDSA 소프트웨어로 고장 계산 결과를 검증하였다. 해석의 결과는 SVC 모델에서 AC 시스템을 대표하는 등가 전원 데이터로 적용할 수 있다.

그림2는 시스템 해석 자료 및 SVC 적용 위치를 표현하였다.

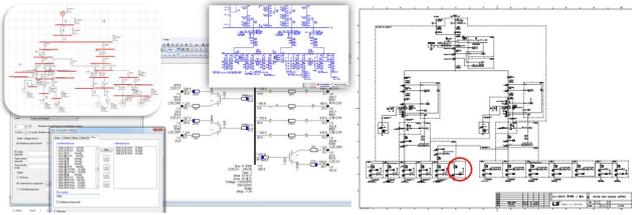


그림 2 계통해석 및 SVC 적용대상 시스템 단선도  
Fig. 2 Network analysis

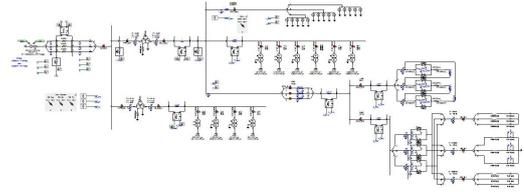


그림 4 SVC 시스템 모델  
Fig. 4 SVC system model using PSCAD/EMTDC

그림5에 표현된 시스템의 제어는 전압지령과 측정치를 비교하여 오차를 피드백 제어하는 전압제어 모드와 설정한 무효전력 출력을 개루프 제어하는 서셉턴스 제어 모드로 구성하였다.

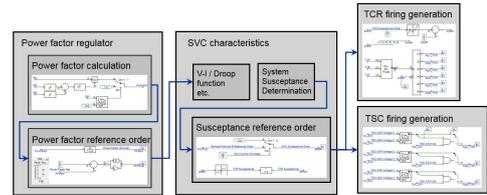


그림 5 주요 제어 블록도  
Fig. 5 Block diagram of control system

### 2.1.2 시스템 측정

적용 시스템의 특성을 파악하기 위하여 LS산전 엔지니어는 2주간 전압 및 전류, 전력량, 역률, 고조파, 플리커 등 전력품질 현상을 실측하였다. 그 결과 평균값을 표2와 그림3에 간략하게 나타내었다. 또한, 변압기 및 정류기 등 공장을 구성하는 핵심 설비의 사양을 확인하여 모델 구성 시 적용할 수 있는 데이터를 확보하였다.

표 2 전력품질 측정  
Table 2 Measurement of power quality

	전압 [kV]	전류 [A]	유효 [MW]	무효 [Mvar]	Power Factor
Main	160.56	272.3	71.5	24.5	0.937
1공장	23.09	1043.3	40.0	11.8	0.934
2공장	23.09	963.7	36.6	12.1	0.950



그림 3 고조파 전류 측정 결과  
Fig. 3 Harmonic currents

### 2.1.3 SVC 시스템

측정 데이터 분석 결과에서 플리커 및 각종 고조파는 계통 및 전력품질 허용 기준치를 밑도는 수준으로 보상의 대상이 되지 않았으나, 고객사의 요구에 따라 역률 보상 및 무효전력 공급을 SVC 시스템의 주 제어 목적으로 설계하였다. SVC 시스템의 용량은 목표 역률, 변압기, 전기로, 부하 등의 무효전력 소비 분, 추후 시스템 증설계획 및 시스템 여유분 등을 고려하여 TCR+TSC 구조의 ±100[Mvar]로 제한하였다.

## 2.2 시스템 모델 및 시뮬레이션

### 2.2.1 SVC 시스템 모델

전체 시스템 모델은 등가 AC전원, 각 Feeder별 변압기 사양 및 부하, 고조파 전류원과 TCR, TSC 구조의 SVC 및 제어 시스템으로 구성하였으며, PSCAD로 구현한 시스템 모델은 그림 4와 같다. (개별 상세 파라미터는 대외비로 관리함에 따라 공개 불가)

### 2.2.2 시뮬레이션

무효전력 보상을 통하여 주 제어 목적인 역률을 보상한 결과 (그림6), 역률 0.945가 SVC가 병렬 운전됨에 따라 0.985로 개선되었다.

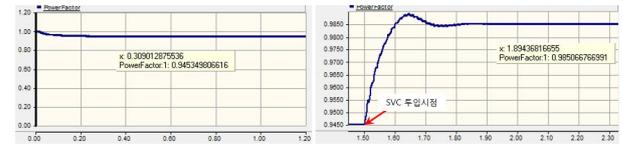


그림 6 SVC 운전에 의한 역률 개선  
Fig. 6 Power factor correction with SVC operation

## 3. 결론

제한한 SVC 시스템을 PSCAD/EMTDC로 모델링하여 그 성능을 확인하였다. 특히, LS산전은 기 확보한 HVDC 기반기술을 바탕으로 무효전력 보상설비인 SVC 시스템 핵심 설비의 자체 생산 능력 및 시험설비를 확보하고 있어 현장조사에서부터 설계, 생산, 시험, 시공까지 고품질의 시스템 Total solution을 제공할 역량을 확보하고 있다. 이러한 Infra를 바탕으로 본 논문에서 소개한 TCR+TSC 구조의 ±100[Mvar] SVC 시스템을 2015년 7월 시운전을 앞두고 있다. 향후, 설치 운전되는 SVC 시스템에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며, 시스템 손실 등 성능평가를 위한 지표를 확인해야 할 필요가 있다.

## 참고 문헌

- [1] Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000.
- [2] Mikael Halonen, "Seo Daegu substation, KEPCO SVC : Main Component Design Report", ABB, December, 1997.
- [3] M. Norozian, "Modelling of SVC in power system studies", ABB power system, April, 1996.
- [4] 손광명, "서대구 SVC(Static Var Compensator) 및 제어 시스템 분석", 전기학회지 50권 7호, 2001.