

배전용 STATCON 설치 사례 - 설치 및 평가

차재덕¹, 김준모¹, 홍순욱¹, 이희성¹, 이기선², 오관율²
 (주)효성 중공업연구소¹, 한국전력공사 전력연구원²

Field Demonstration of the Distribution STATCON - Installation & Evaluation

J.D.CHA¹, J.M.KIM¹, S.W.HONG¹, H.S.LEE¹, K.S.LEE², K.I.OH²

Industrial R&D Institute of HYOSUNG Corporation¹, Power System Research Lab. of KEPRI²

Abstract - This paper describes the first field demonstration of the distribution STATCON in Korea including installation and its evaluation for improving power quality in distribution system. The purpose of installation is to verify functionally the voltage source inverter based equipment for voltage regulation and harmonic mitigation in distribution line. The operational data resulting from field test and the site figure are included.

터방식의 전압 레귤레이터이다. 그림 1.에는 설치장소에 STATCON이 연결된 단선도가 나타나고 있으며 설치된 STATCON은 크게 대용량 스위치 패널부, Magnetics 부, 전력변환 장치부(PESS:Power Electronics Sub System) 그리고 제어부의 4가지 부분으로 구성되어 있으며 이는 모두 이동용 트레일링형 컨테이너 내부에 수납된다.

1. 서 론

배전 선로의 효율적인 전력수급 체계 운용측면에서 근본적인 문제는 송전선로에서의 그것과는 다소 상이함이 있다. 즉 전압 플리커 보상 및 고조파 저감 제어의 구현이 배전선로에서의 주된 관심사로 대두된다. 현재까지 이러한 플리커, 고조파 문제를 해결하기 위하여 진상콘덴서, SVC(Static Var Compensator) 그리고 고조파 필터 등의 다양한 보상 방안들이 적용되어 왔다. 최근 상기의 보상기기 기능을 모두 포함하고 있으며 빠른 응답속도와 정확한 실시간 제어 기능의 장점을 보유한 배전용 STATCON(Static Condenser)의 관심이 고조되고 있다[1]. 한편 배전선로 상에 다양한 목적의 보상기기를 설치함으로써 전력공급회사나 사용자측 모두 상당한 이점을 얻을 수 있게 된다. 사용자측면에서는 배전용 보상기기를 설치함으로써 고품질의 전력을 공급받고 생산라인의 안정적인 동작을 도모할 수 있게 되므로 양질의 제품을 생산할 수 있으며, 전력 공급회사의 측면에서는 전반적인 선로의 안정도가 향상되며 돌발적인 사고가 발생하여도 사고지역이 감소되는 이점을 얻게된다.

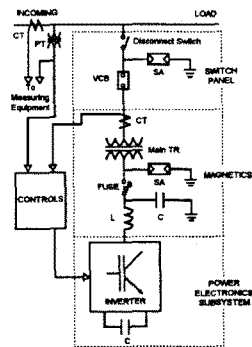


그림 1. STATCON 설치 단선도

국내 처음으로 배전용 STATCON이 설치된 장소는 산업용 모터 구동장치 및 증대용량 유도로를 주된 부하로 사용하는 (주)효성 중공업PG 창원 제1공장이다. 이러한 부하는 선로의 전압변동과 고조파 문제를 야기한다. 그러나 이 공장선로는 단락용량이 크게 설계되어 상기의 부하를 사용함에도 불구하고 전압의 THD가 낮고 전압변동도 크게 나타나지 않는 특성을 보여준다[2]. 이와 같은 선로의 특성으로 인하여 STATCON의 동작효과를 확인하기에는 다소 무리였지만 공장의 생산과정에 어떠한 영향도 미치지 않고 STATCON의 정격동작으로 다양한 부하에 대한 시험을 성공적으로 완료하였다.

현재 첫 번째 설치대상장소인 (주)효성 창원 제1공장에서의 설치 및 동작시험이 완료되었고 본 장소에서의 일정기간의 실증시험과 지속적인 엔지니어링 작업을 마친 후 STATCON은 최종 대상지역으로 이동하여 본격적인 상용운영에 들어갈 예정이다.

2. 본 론

2.1 STATCON 시스템 구성

STATCON은 고조파 저감 기능을 갖는 전압원 인버

터방식의 전압 레귤레이터이다. 그림 1.에는 설치장소에 STATCON이 연결된 단선도가 나타나고 있으며 설치된 STATCON은 크게 대용량 스위치 패널부, Magnetics 부, 전력변환 장치부(PESS:Power Electronics Sub System) 그리고 제어부의 4가지 부분으로 구성되어 있으며 이는 모두 이동용 트레일링형 컨테이너 내부에 수납된다.

PESS는 두 대의 3상 IGBT 인버터가 병렬로 동작하도록 설계되어 있으며 주 기능은 전압 레귤레이션과 고조파 저감을 위한 전류를 발생하는 것이다. 비교적 고전압인 DC 전압을 스위칭하기 위하여 8 IGBT /1 valve를 직렬로 연결하여 구동하고 있으며 컨테이너 내부의 구성요소들의 방열을 위하여 6개 중용량 팬의 구동에 의한 강제 냉각방식을 채택한다. 또한 STATCON의 운전시작 과정을 위한 DC 전압 초기 충전회로와 정지를 위한 순간 방전회로가 있다. Magnetics는 주 변압기, 필터 회로부 그리고 IPT(Inter Phase Transformer)로 구성된다. 주 변압기의 정격 전압 변환비는 22.9kV /2,520V이며 선로와 STATCON의 연계 역할을 한다. 변압기 1차측은 선로와의 연결/분리용 DS(Disconnect Switch), VCB(Vacuum Circuit Breaker), 낙뢰 방지용 SA(Surge Arrester)로 구성된 스위치 패널부와 연결되어 있다. LC 필터부는 인버터부에서 발생하는 PWM 고조파를 제거하는 역할을 한다. IPT는 특수목적의 변압기로서 2개의 인버터의 안정된 병렬운전을 가능하게 하고 PWM 주파수를 두 배로 증가시켜 전류 고조파를 저감시킨다.

제어부는 인버터제어, 여러 보드간의 통신, 각종 보호 기능 그리고 이러한 여러 기능의 보드를 총괄 제어하는 기능의 부분으로 이루어져 있다. 보호기능은 두 가지로 구분되는데 하나는 STATCON이 정상상태에서 안정된 동작이 가능하도록 하는 시스템보호 기능이며 다른 하나는 운전개시나 정지시 안전성을 보장하는 Interlock 보호 기능이다. 이는 유지 또는 보수 시에 불의의 인사사고를 방지하기 위하여 설계된 것이다.

2.2 대상선로상의 설치

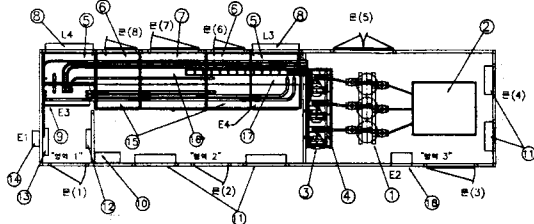
2.2.1 설치장소 준비

STATCON을 배전선로에 연결하는데 필요한 장치 및 환경요건들은 다음과 같다.

1. 절연차단기를 포함한 3상 22.9kV 가공선로
2. 전압/전류 피드백 신호로 사용되는 3상 PT/CT
3. STATCON의 보조전원 공급용 단상 3선식 22.9kV/220V 주상변압기
4. 낙뢰방지용 고압 Surge Arrester
5. STATCON 하부 지중 Cableway
6. STATCON 주위의 접지선

2.2.2 STATCON 구성

STATCON은 이동 설치가 용이하도록 2.6m×2.8m×12m의 트레일러형 컨테이너 내부에 모든 구성요소가 수납되어 있으며 그림 2.에 STATCON 구성요소의 위치 및 세부명칭이 나타나고 있다.



STATCON 주요 구성품

No	부품명	No	부품명	No	부품명
1	Main Transformer	7	Interphase TR	13	Distribution Box
2	VCB & DS	8	Inlet Lower(Hinged)	14	Keypad Box
3	Filter Reactor	9	Control Cabinet	15	Inverter Poles
4	Filter Capacitor	10	UPS	16	DC Clamp Circuit
5	FANS	11	Outlet Lower	17	Discharge Circuit
6	DC Capacitor	12	PT,CT/ Switch Box	18	TR Controller

그림 2. STATCON 구성요소의 위치 및 세부명칭

주 변압기, IPT, LC 필터, 인버터 Module등의 모든 전력 구성요소는 시스템의 운전 이전에 부분시험이 완료된 상태이며 또한 초기 충전회로, Gate 구동회로, 광신호 분배회로, Interlock회로, VCB 제어회로 등의 보조회로 동작도 철저히 점검이 완료되었다. MMI를 위한 Keypad는 조작자가 START, STOP 및 RESET 버튼을 사용하여 운전 및 정지 조작을 가능하도록 하며 각종 Alarm 및 Trip에 대한 메시지가 DISPLAY상에 상세히 나타나도록 되어있다. Keypad상의 MONITOR 모드에서는 STATCON 운전상태의 DC전압, AC전압 및 전류 등 다양한 상태 값을 확인할 수 있고 PROGRAM 모드에서는 조작자가 여러 가지 파라미터 값의 설정 및 변경이 가능하다.

2.2.3 안전대책

STATCON은 유지 및 보수 시 또는 운전도중의 불의의 인사사고를 방지하기 위하여 안전시스템을 확보하고 있다. Key Interlock 시스템은 STATCON 정지 후 DC Link 단을 포함하여 내부의 모든 전력부가 충분한 방전시간을 확보할 때까지의 5분 동안 컨테이너 출입문을 개방할 수 없도록 설계되어 있다. 한편 모든 도체성 Frame 부분은 트레일러 몸체에 연결되어 있고 이는 배전선로 중성점인 접지단자에 연결되어 있다. 또한 작업자가 컨테이너 내부로 들어가기 전에 우선적으로 VCB를 Off하고 변압기 1차측을 반드시 접지 하도록 한다.

2.2.4 Alarm 및 Trip 기능

STATCON은 예상치 못한 상황이 발생시 시스템의 보호를 목적으로 하는 다수의 보호기능을 가지고 있다. Trip 상황이 발생하면 기본적으로 STATCON을 선로로부터 차단하게 되며 그 원인을 해결 후 조작자에 의하

여 복구 투입된다. 그러나 일시적인 Trip으로 판단되는 순간적인 과전압, 과전류, 저전압 등에 의한 Trip 상황은 일정시간 후 STATCON 자체에서 복구 신호를 발생하여 자동 복구 투입 가능하다. 이러한 Alarm 및 Trip에 의한 보호 기능은 STATCON이 운전되기 전에 반드시 사전 시험을 완료하여야 한다.

2.2.5 예비 시험

PESS부와 제어부는 미국 Westinghouse사로부터 구입하였고 이에 대한 기능시험은 이미 완료되었으며 이외의 모든 구성요소에 대한 조립과 배선은 (주)효성중공업PG 전장공장에서 이루어졌다. 조립완료 후 설치장소인 제 1공장 변전실로 이동하여 설치되었으며 사진전경이 그림 3.에 나타나고 있다.

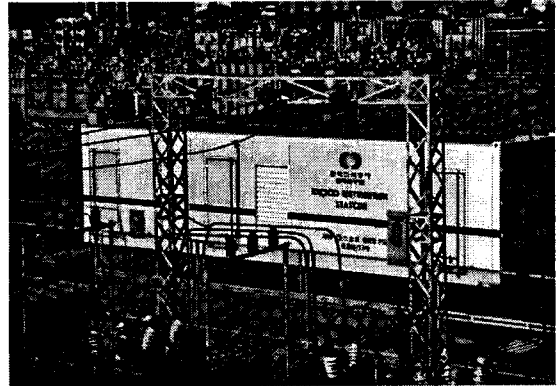


그림 3. STATCON 설치장소 전경

선로상의 CT, PT 신호단자 및 주 회로 단자 등의 연결을 완료하였으며 각종 보호레벨 시험, DC bus 고압 절연시험, 스위치 류 on/off 시험, Interlock 시험, 저전압 인버터시험, 초기충전회로, 방전회로 등 사전에 부분적으로 점검하여야 하는 회로부들의 예비시험을 수행하였다.

한편 On-line 후 수행하여야 할 시험은 다음과 같다.

1. 안정된 On-line 동작을 보장하기 위한 수 회에 걸친 운전개시 및 정지 시험
2. 전압 설정치(Voltage Set point) 변화에 따른 동작 시험 : 설정치 100%의 정격 지상동작으로부터 설정치 110%의 정격 진상동작으로의 변화

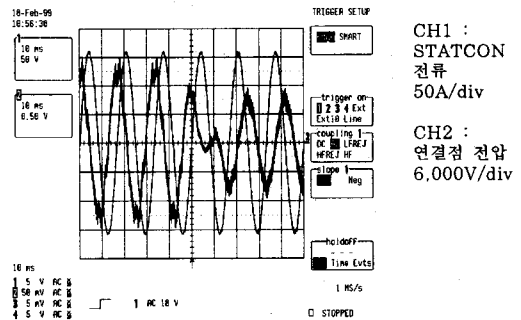


그림 4. 진상→지상 과도응답

그림 4.에는 진상동작에서 지상동작으로 변화하는 과도상태의 파형이 나타나고 있다. LC 필터부 커패시터의 200kVAR 진상동작으로 인하여 STATCON의 동작범위는 800kVAR~1,200kVAR이다. 한편 과도응답 시간은 반주기 이내이며 필터 커패시터에 의하여 전류값의

크기가 변화함을 확인할 수 있다.

3. Track Limit 시험 : 이는 전압 설정치 (V_{set})의 상한과 하한을 갖는 한계영역을 가지고 동작하는 기능이며 배전선로에서 전압변동이 발생하는 경우 변동값이 한계영역 내에 존재하면 STATCON은 제어 동작을 하지 않으며 영역을 벗어날 경우 제어동작을 하게된다. Track Limit가 $\pm 0\%$ 이면 STATCON은 정확히 전압 설정치에 맞도록 제어하게 된다.

2.2.6 전압제어

그림 5.는 전압제어의 Tracking Mode 동작 설명을 위한 그래프이며 Track limit는 $\pm 5\%$ 이다. A 지점의 전압플리커 또는 sag가 발생하게 되면 STATCON은 이를 감지하여 지상전류를 선로로 주입함으로써 신속하게 전압 설정치가 100%인 B 지점으로 제어하게 되며 그 후 1% step씩 이미 설정된 Track Rate의 비율로 V_{set} 을 감소하게 된다. 이때 Track Limit 범위 내에서 STATCON 주입전류가 0이 되는 지점 C가 나타나게되면 STATCON 선로의 전압을 그 상태로 유지하기 위하여 동작을 멈추게 된다. 한편 주입전류가 0 이 되지 않은 상태에서 하한 Track Limit D 지점을 지나서 전압이 감소하려 하면 다시 V_{set} 100%까지 전압을 상승시키는 제어를 하고 상기의 순서를 수행하게 된다. 반대로 과전압 또는 Swell이 발생한 E 지점의 경우도 역으로 동일한 동작을 하게된다. 이는 일종의 제어영역 Band를 가지고 V_{set} 의 전압에 맞추도록 제어하면서 Track band를 벗어나지 않는다면 STATCON은 동작을 하지 않는다는 의미이다. 따라서 이것은 플리커 제어에 유용하며 STATCON은 항상 동작하지는 않게 된다. Track Limit를 $\pm 0\%$ 로 설정하면 STATCON은 순수한 Voltage Regulator로 동작하게 된다[2].

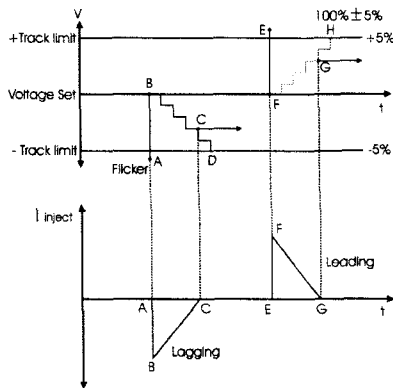


그림 5. 전압제어 Tracking Mode

2.2.7 고조파 저감 제어

STATCON의 제어는 전압 플리커에 대한 보상을 기본으로 한다. 그러나 최근 반도체공장과 같은 민감성 부하에 악영향을 미치는 고조파 문제가 배전선로에 심각하게 대두되면서 이를 저감시키기 위한 고조파 저감 제어 기능의 필요성에 부합하고자 그 기능이 본 시스템에 부가되었다. 따라서 STATCON은 진상 및 지상 동작으로 전압 플리커를 보상하고 또한 고조파전류를 발생하여 배전선로상의 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파를 저감시키는 기능도 수행하게 된다.

대용량 정류기, 전류형 인버터 등 각종 비선형 부하를 사용하는 (주)효성 창원 제1공장 22.9kV 선로의 경우 선로 임피던스가 작아서 부하가 변동함에도 불구하고 전압 THD는 1%이하로 측정되었다. 따라서 선로 고조파의 저감 효과를 확인 할 수는 없었지만 그 기능을 수행

하기 위한 정격 전류가 안정되게 발생되는가에 초점을 두고 시험하였다.

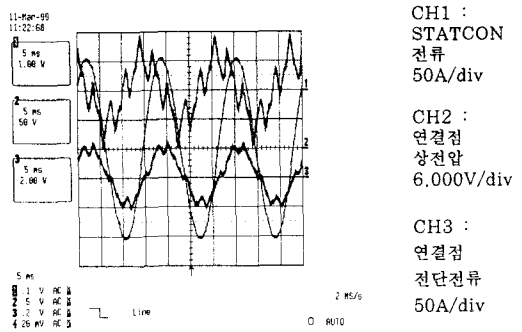


그림 6. STATCON 고조파 저감 제어

그림 6.은 STATCON이 진상동작을 하면서 고조파 저감 제어를 수행 할 때의 각 부분 파형을 나타내고 있으며 STATCON은 5차 및 7차 고조파에 대하여 최대 기본파의 35%까지 발생할 수 있다. 장시간의 지속적인 운전 후 전력 구성요소 각 부분의 온도점검을 통하여 안정동작을 확인하였다.

3. 결론

본 STATCON은 미국 Westinghouse사의 상용화 운전을 통하여 배전선로 상의 전압 플리커 보상 기능이 이미 입증된 시스템이다. STATCON은 예비 설치대상 장소인 (주)효성 창원 제1공장에서의 설치 및 동작시험이 성공적으로 완료된 상태이며 이 때 수행된 시험 데이터는 STATCON이 안정되게 동작하면서 배전선로상의 다양한 문제점을 해결할 수 있음을 입증하였다. 배전선로의 전력품질의 악화로 인하여 어려움을 겪고 있는 전력공급회사와 수용가 모두 STATCON을 적용함으로써 양질의 전력을 공급함에 있어서 상당한 이점을 얻을 것이다.

향후 본 장소에서의 일정기간의 실증시험과 지속적인 엔지니어링 작업을 마친 후 최종 결정된 설치 운전 대상 지역으로 이동하여 전압플리커 보상 및 고조파 저감 제어를 목표로 하는 본격적인 운전에 들어갈 예정이다. 따라서 현재 (주)효성과 한전 전력연구원은 본 시스템이 충분한 개선효과를 나타낼 수 있는 대상선로 조사과정을 진행 중이다.

Email : jaedeokcha@hyosung.co.kr

(참 고 문 헌)

- [1] C. Edwards, N. Abi-Samra, N. Woodley, G. Armanini, J. Clouston, W. Malcolm, A. Sundaram, "Static Compensator for Distribution Systems", Power Quality/Power Value Proceedings, April 1997
- [2] FACT 기기개발 1단계연구 중간보고서 -1MVA급 IGBT형 STATCON 개발 -, 한국전력공사 전력연구원 '98.11
- [3] C. Edwards, N. Abi-Samra, "Distribution Static Compensator(DSTATCOM) Demonstration Project for BC Hydro at Adams Lake Lumber Company", Power Quality/Power Value Proceedings, June 1995
- [4] J.R.Clouston et al., "Field Demonstration Project Experience on the Distribution System DSTATCOM Used to Mitigate Voltage Flicker", Power Quality/Power Value Proceedings, September 1997, pp244-264

본 논문은 한국전력공사 전력연구원의 "FACTS 기기 개발 1단계 연구"의 일환으로 이루어진 결과임.