

154kV STATCOM(정지형 무효전력 보상장치) 국산화 최초설치 및 현장시험

방선웅*, 민병욱*, 신명식*, 유현호**
한국전력공사*, 효성**

The Installation and Site Test of 154kV STATCOM

Seon-Woong Bahng*, Byeong-Wook Min*, Myoung-Sik Shin*, Hyun-Ho Yoo**
KEPCO*, Hyosung**

Abstract - 현재 제주지역 전력계통은 원형 모양의 다중계통으로 구성되어 있어 송전선로 고장 발생시 단일계통으로 운전됨에 따라 말단 측에 전압문제가 발생할 우려가 있을 뿐만 아니라, 대규모 풍력발전단지 조성 및 #2 HVDC 제주연계로 제주지역내 무효전력 수급 불균형 상황이 발생할 것으로 예상된다. 이에 따라 제주지역 전력계통 전압안정도 개선을 위하여 순동 무효전력 보상장치를 154kV 한라, 신제주변전소에 설치하기로 계획하였으며 154kV급 STATCOM(정지형 무효전력 보상장치)으로 결정되었다. 이번에 제주에 적용된 STATCOM은 미급변전소에 설치된 345kV급 STATCOM에 이어 국내기술로 개발된 설비로 154kV 급으로는 처음 국내에 설치되었다. 제주지역 특성을 반영하여 변압기, 인버터 등 STATCOM 구성 주요기에 대한 정격을 결정, 기술규격을 확정 후 구매를 추진하였고 2011년 1월부터 설치를 착수하여 2011년 5월말 시운전 목표로 추진하고 있다. 본 논문에서는 국내에 최초로 적용되는 154kV급 STATCOM의 현장설치 주요과정에 대한 소개와 현장시험 주요항목 및 유의사항에 대해 기술하고 있다.

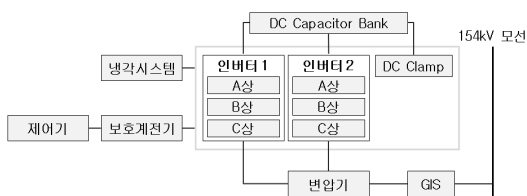
1. 서 론

계통 안정화 및 송전용량 증대를 위한 기술대안으로 최근 국내의적으로 FACTS(Flexible AC Transmission System)에 대한 관심이 커져가고 있다. FACTS는 크게 병렬형, 직렬형, 직병렬형 기기로 나눌 수 있으며 이 중 병렬형 기기는 SVC, STATCOM과 같은 기기로 주로 전압안정도 향상을 위한 목적으로 활용되고 있다. STATCOM은 전력계통의 운용 및 제어에 사용되는 FACTS 기기들 중 모선의 전압제어를 위해 사용되는 무효전력 보상장치이다.

국내 기업이 국가과제를 통하여 자체 개발한 100MVA STATCOM이 미급 345kV 모선에 설치·운용되고 있으며 이러한 경험을 바탕으로 제주지역에 50MVA STATCOM 적용을 계획하게 되었다. 본 논문에서는 국내에 최초로 적용되는 154kV급 STATCOM의 현장설치 주요과정에 대한 소개와 전원 인가시험, DC전원 인가시험, 계통병입 인버터 특성시험 등 현장시험 주요항목 및 유의사항을 기술하고자 한다.

2. 154kV 50MVA STATCOM SYSTEM 구성

50MVA STATCOM의 기본구성은 그림 1과 같다. 단위용량 8.33MVA인 인버터 풀 3대가 하나의 3상 인버터를 구성하며, 2대의 3상 인버터의 출력파형이 변압기를 통하여 합성된다. 합성된 출력전압은 변압기에서 154kV로 승압되어 차단기인 GIS를 통하여 계통에 연결된다.



〈그림 1〉 154kV 50MVA STATCOM 구성도

STATCOM 계통연계를 위한 변압기는 GIS(170kV, 50kA, 1200A)를 통해 변전소 모선과 병렬로 연결되어 있다. FACTS용 변압기의 설계에 있어서 가장 중요한 부분은 변압기에 DC 전류가 흐를 수 있고, 이에 의해 발생한 DC 자속이 철심에 흘러 DC 편자를 일으킴에 따라 손실 및 소음 증가를 유발할 수 있다는 점이다. 이의 보안을 위해 변압기 철심에 부분공극 적용방식을 도입, 기존 공극방식에 비하여 손실과 소음을 개선할 수 있었다. 인버터 정격 출력전압은 4,470Vrms(L-G)이며 정격 출력전류는 1,873Arms로 설계되었다. 제작된 인버터는 스위칭 동작시 발생

하는 과도현상 크기를 최소화하기 위해 표유 인덕턴스를 최소화하여 설계되었다.

3. Off-Line 시험

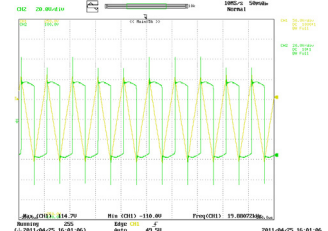
인버터 설치가 완료되면 계통에 직접 인가하는 On-Line 시험 이전에 Off-Line 시험을 수행하여 시스템의 문제점을 사전에 파악해야 한다. 이러한 Off-Line 시험에는 IGCT 전원공급용 HFI 시험, DC Bus Calibration 및 동작시험, 저전압 Waveform construction 시험, 정격전압 출력시험 및 Short Circuit 시험을 수행해야 한다.

3.1 HFI(High Frequency Inverter) 시험

게이트 구동용 고주파 전원장치로는 고주파 전류순환식 전원장치(HFI)와 고주파 전류입력형 변압기를 사용한다. HFI의 출력은 20kHz ±100A 이내의 삼각파를 출력하며 HFI출력에 페루프를 만들어 고주파 전류 입력형 변압기로 IGCT Gate 구동용 전원을 생성한다. 이러한 전원 허용범위는 AC 사각파 24~40V, 17~100kHz이다. 설치된 HFI 및 고주파 전류 입력형 변압기를 시험하기 위해 고주파 입력형 변압기 2차측의 전압을 측정하였으며 측정파형은 그림 2와 같이 20kHz 32Vpeak로 IGCT Gate Drive 허용 범위에 있음을 확인하였다.



HFI 설치

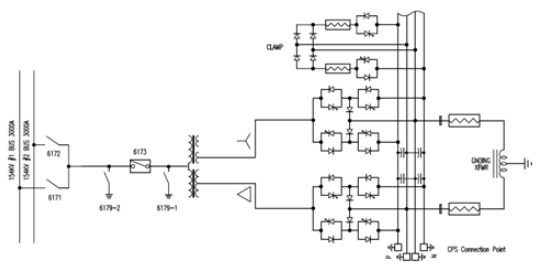


HFI 출력파형

〈그림 2〉 HFI 설치 및 출력파형

3.2 DC Bus Calibration 및 동작시험

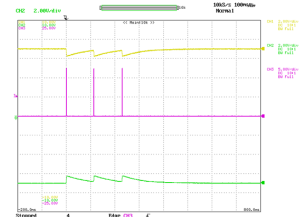
DC 전압의 음, 양 분배 확인 및 피드백되는 DC값의 설정치를 교정하고 교정된 값에 따라 DC 클램프의 동작을 시험하여야 하며 시험장치 구성은 그림 3과 같다. 시험방법은 시험장치 구성을 확인하고 Commissioning Power Supply의 전원을 인가하여 DC 클램프 동작 설정점인 7,500Vdc에서의 동작, 7,000Vdc에서의 동작해제를 확인한다. DC 클램프 동작시 DC 전압과 클램프 전류를 확인하며 이 때 적외선 센서를 이용하여 DC 클램프 저항의 온도가 100°C를 초과하는지의 여부도 확인해야 한다. DC 클램프 동작시험 결과는 그림 4와 같이 DC 7,500V 클램프 동작, DC 7,000V 클램프 동작해제(Firing 3회 실시)를 확인하였다.



〈그림 3〉 Clamp 시험 및 저전압 파형 합성시험 장치



Commissioning Power Supply



DC 클램프 동작파형

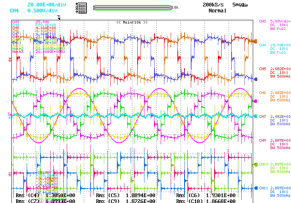
<그림 4> DC 클램프 동작시험

3.3 저전압 파형 합성시험(Waveform Construction Test)

인버터 출력파형 및 위상점검을 위한 시험으로 시험장치 구성은 그림 3과 동일하다. Commissioning Power Supply의 DC 전압을 ±500Vdc부터 시작하여 ±2,000Vdc 수준의 값으로 변동시키며 각 인버터 풀의 출력파형과 계통전압의 위상이 올바른 출력을 나타내는지 오실로스코프를 통하여 확인하였다. 시험조건은 표 1과 같으며 DC 2,000V 인가시 출력파형은 그림 5와 같다.

<표 1> 출력전압 시험 DC 설정치

	DC +(V)	DC -(V)
1	500	-500
2	1,000	-1,000
3	1,500	-1,500
4	2,000	-2,000



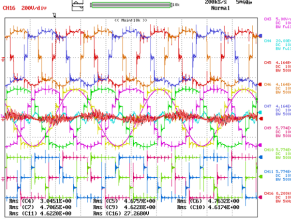
<그림 5> 인버터 출력파형

3.4 정격전압 출력시험

정격전압에서의 인버터 출력파형 및 위상점검을 위한 시험으로 그림 6과 같이 ±5,000Vdc 수준에서의 안정적인 전압 출력파형을 확인하였다. 표 2에 명시된 DC Commissioning power supply 출력전압 시험조건에 따른 인버터의 출력파형을 오실로스코프를 통하여 확인하였다.

<표 2> 출력전압 시험 DC 설정치

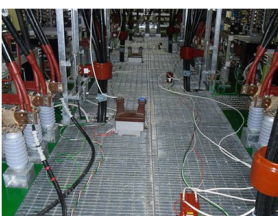
	DC +(V)	DC -(V)
1	1,000	-1,000
2	2,000	-2,000
3	3,000	-3,000
4	4,000	-4,000
5	5,000	-5,000



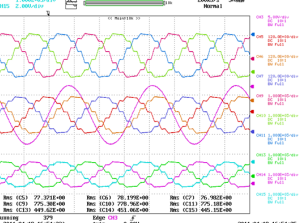
<그림 6> 인버터 출력파형

3.5 Short Circuit 시험

인버터의 전류결선 확인을 위한 시험으로 시험회로는 차단기와 접지개폐기를 투입하여 구성한다. Commissioning Power Supply DC 출력값을 서서히 증가시키며 출력전압 크기는 단락전류 크기를 감시하면서 정격전류(1870A)의 50% 출력까지만 증가시킨다. 이 때 각 풀의 출력전압과 전류를 확인함으로써 인버터의 결선이 올바른지 여부를 확인하였으며 그 파형은 그림 7과 같다.



Short Circuit Test



출력전압 및 전류파형

<그림 7> Short Circuit 시험

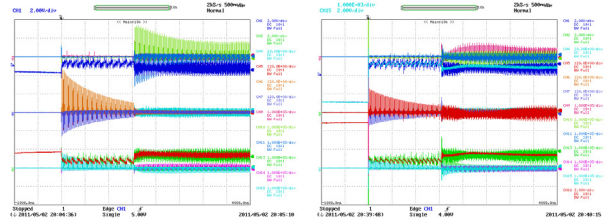
4. On-Line 시험

Off-Line 시험 완료 후 154kV 계통에 연계하여 On-Line 시험을 수행

하였으며 회로도도 그림 3과 동일하고 단로기와 차단기를 투입하여 계통에 병입하였다. On-Line 시험은 DC Bus 초기 충전레벨을 조정하여 점차적으로 초기충전 없이 직접 가압하는 방식으로 수행하였으며 계통 병입 후 전압제어모드 및 전류제어모드의 특성시험을 수행하였다.

4.1 DC Bus 직접 가압시험

Commissioning Power Supply를 통한 DC Bus를 100% 충전부터 25% 단위로 줄여가면서 시험하여 그림 8에서처럼 초기 충전된 DC 값이 작을수록 DC 전압 peak가 크게 나타남을 알 수 있다.



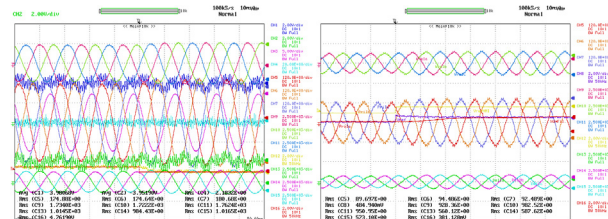
<그림 8> 100%, 25% 초기충전 후 초기투입 시험

4.2 폐회로 전류제어 및 시스템 동특성시험(Manual Mode Test)

STATCOM 출력변화에 따른 계통응답을 확인하기 위해 전류제어모드에서 STATCOM 출력값을 -50MVAR에서 30MVAR까지 변화시키면서 계통전압과 STATCOM 특성을 확인하는 시험을 수행하였다. 시험결과 제주계통의 무효전력 보상에 따른 신제주, 한라변전소의 전압 조정범위는 50Mvar 출력시 3.5kV의 전압변동이 있음을 확인하였다. STATCOM 응답특성 측정을 위하여 레퍼런스 변화에 따른 출력 특성을 측정하였으며 측정결과 1주기 이내에 제어가 이루어지는 것을 확인하였다.

4.3 전압제어모드 특성시험(Auto Voltage Control Mode Test)

Auto Voltage Control mode에서 전압지령을 가변하면서 지령에 따른 모션전압의 움직임을 비교하여 Droop이 알맞게 설정되어 있는지와 설정 전압에 따른 제어특성을 확인하기 위한 시험으로 Droop 1%에서 2%, 3%까지 전압 설정치를 가변하면서 시험을 수행, 각 Droop에 따른 실제 측정된 기술기 값이 계산된 값과 일치함을 확인하였다. 특성시험 중 Droop 1%에서 Vi+2.5kV 지령에 따른 응답특성 파형은 그림 10과 같이 Droop 특성을 반영한 전압제어가 이루어짐을 확인할 수 있다.



<그림 9> Inductive Mode

<그림 10> Vi+2.5kV 전압제어

5. 결 론

제주지역 전력계통 전압안정도 개선을 위해 적용된 STATCOM은 미금변전소 345kV급 STATCOM에 이어 154kV급으로는 처음 국내에 설치되었다. 국내기술로 개발되어 처음 적용되는 설비로 본 논문을 통해 현장설치의 주요과정과 Off-Line, On-Line 시험 등 현장시험을 소개하였으며 이를 통해 그 성능을 확인할 수 있었다.

향후 동적특성시험 및 시운전기간이 완료되면 STATCOM의 설치가 대규모 풍력발전단지 조성 및 #2 HVDC 제주연계로 인해 발생될 제주지역내 무효전력 수급 불균형을 해소할 수 있을 것이며 제주지역 전력계통의 전압 안정도 향상에 기여할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 대용량 전력수송 기술개발(1단계 : FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발) 최종보고서 중간보고서, 2007
 [2] Y.S. Han, J.Y. Choi, D.H. Kim, J.S. Yoon, " 10 MVA STATCOM Installation and Commissioning", ICPE/07 Conference, 2007
 [3] B.H. Chang, S.Y. Kim, J.Y. Han, D.K. Choi, H.C. Song, B.J. Lee, " 수도권 전압안정도 향상을 위한 100 MVA STATCOM 위치선정 연구", 전기학회논문지, Vol. 56, No. 9, pp 1543 ~ 1548, 2007