

육지-제주간 2차 HVDC SYSTEM 개요

장석한* · 유승환** · 신명식*** · 이규용****
한국전력공사,

The Introduction of #2 HVDC SYSTEM

Suk-han Jang · Sung-Hwan Yoo · Myoung-sik Shin · Gyu-yong Lee
KEPCO

Abstract - Cheju-Haenam HVDC transmission system start it's commercial operation since 1998. JEJU island is supplied with it's about 45% of total electric power from main land with HVDC link. In JEJU island, the demand of electric power is growing every year. With a current power supply, electric power reserve rate will be below the recommended one.

For a stable power supply to JEJU island, KEPCO start a construction of #2 HVDC transmission system.

This report is for introduction and understanding of #2 HVDC system which will be installed between JEJU island and main land. This report includes a specification of converter station and DC cable. KEPCO expect that this system will solve the power supply problem and maximum wind power plant capacity problem as well.

에 따르면 2008년 현재 제주제통의 풍력발전 한계용량은 120MW이다. 현재 제주도에서는 카본프리 아일랜드(Carbone Free Island) 전략을 기본 에너지 정책으로 하여 신재생 에너지원의 공급을 확대하고자 계획하고 있다. 이를 위해서는 HVDC를 추가로 건설하여 부하추종의 속응성과 양방향 송전 능력을 증가시켜야 한다. 2차 HVDC가 건설 되면 풍력발전 한계용량을 현재의 3배인 360MW까지 증가시킬 수 있게 된다.

향후 제주도의 점증하는 전력수요에 대비하고, 풍력발전 등으로 발생하는 잉여전력을 제주도에서 육지 측으로 공급함으로써 국가 전체적으로 효율적인 전력운용을 위해서는 조속한 2차 HVDC 건설이 필요하다.

2.2 2차 HVDC 사업개요

해남과 제주를 연계하는 1차 HVDC 시스템에 이은 2차 HVDC 사업은 점증하는 전력수요에 따른 제주도 전력공급 능력을 확충하고 전력계통의 취약성을 보강하여 신뢰성 높은 전력을 안정적으로 공급하는데 그 목적이 있다. 이는 세계자연유산인 바탕으로 국제 관광도시로 발돋움 하기 위해 에너지 공급원 중에 청정에너지 비율을 높이고자 하는 제주도의 전략과도 부합한다고 볼 수 있다.

2차 HVDC 시스템은 DC±250kV, 200MW 2회선으로 총 400MW의 용량으로서 DC±180kV, 150MW 2회선인 1차 HVDC 보다 큰 용량이다. 변환소의 핵심이라고 할 수 있는 변환기는 사이리스터 소자인 SCR을 사용한 전류형 변환기(CSC : Current Source Converter)를 채택하였다. 제주제통의 경우 전력공급원 중 HVDC가 단위설비로서 차지하는 비중이 높기 때문에 실증운전 사례가 상대적으로 적은 전압형 변환기(VSC : Voltage Source Converter) 보다 신뢰성 측면에서 검증된 전류형 변환기가 안정적인 전력공급을 주 목적으로 하는 2차 HVDC 시스템에 적합하다고 할 수 있다. 해수귀로 방식을 사용한 1차 HVDC와는 달리 도체귀로 방식을 채택하였기 때문에 해수귀로 방식의 문제점들을 완전히 해소하게 되었다. 전력케이블 2선, 귀로케이블 2선, 총 4선의 케이블에 의한 양극(Bipole), 단극(Monopole)운전이 가능하다. 2차 HVDC 시스템의 구성도는 다음 그림 1에서 보는 바와 같다. 변환소에 의한 손실은 부하시 정격용량 200MW의 0.8%, 무부하시 정격용량의 0.1% 이하가 되도록 할 것이다.

1. 서 론

제3차 전력수급기본계획에 기준한 제주도 전력수급전망에 따르면 제주도의 2008년도 평균부하는 380MW, 피크 부하는 553MW였다. 2011년에 제주도의 전력공급능력은 801MW이며 최대수요는 약 681MW로 예상하고 있다. 제주도의 전력계통 특성상 적정 설비예비율은 28% 이상이 요구되나, 제주국제자유도시 추진 등 제주도 내 전력수요 증가에 따른 추세로 볼 때 2011년도 이후에는 예비율이 17% 이하로서 전력 수급에 어려움이 예상되고 있다. 이에 따라 제주지역 전력계통 특성을 고려한 장기적인 전력공급 방안으로 400MW규모의 HVDC 연계선을 추가로 건설하는 계획을 확정하였다.

2. 본 론

2.1 2차 HVDC 사업의 필요성

「제주제통의 풍력설비 한계용량 및 계통운영방안 연구용역」

* 準會員 : 韓國電力公社 電力系統建設處長
** 準會員 : 韓國電力公社 直流連繫建設所長
*** 準會員 : 韓國電力公社 直流連繫建設所 變換部長
**** 正會員 : 韓國電力公社 直流連繫建設所 變換課長

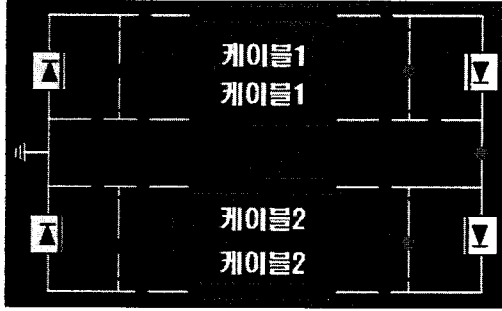


그림 1. HVDC 시스템 구성도

2.3 2차 HVDC SYSTEM 개요

2.3.1 시스템 주요특성

1) 주 회로 구성

HVDC 시스템은 상시에는 이중단극(Double Monopole)으로 운전되며, 상황에 따라서 금속귀로선(Metallic Return), 전력케이블(Pole Line), 절환모선(Transfer Bus)을 사용하여 이중단극(Double Monopole), 양극(Bipole), 단극(Monopole)으로 운전하게 된다. HVDC 시스템의 주요 구성 특성은 다음과 같다.

- 각 변환소는 직류전압 $\pm 250\text{kV}$, 정격전력 200MW인 두개의 변환 극(Pole)로 구성된다.
- DC 케이블은 4선으로 구성하며 귀로케이블은 전력 케이블과 동일한 사양이다. 광케이블을 이용하여 변환소 간 통신 및 전력케이블의 실시간 감시를 하게 된다.

2) 조류반전 특성

풍력발전 용량증가 등 제주 전력계통을 고려할 때 HVDC의 설비가 갖추어야 할 요건은 양방향 송전이 가능해야 한다는 점이다. 기존 HVDC 역시 설비의 적절한 제어를 통해 역송전이 가능하지만, 2차 HVDC는 계통의 상황에 따라 고속 조류반전(Fast Inversion)이 자동으로 이루어 지게 설계된다. 고속 조류반전은 계통상의 큰 주파수 변동, 발전소의 전력손실 감지, 풍력전원의 계통 유입 등과 같이 AC 계통상에 중대한 상황이 감지될 때 일어나게 된다.

3) 제어시스템 특징

제어시스템은 양 변환소의 현장제어실 및 통합급전소에서 제어, 감시 및 설정치 변경 등이 수행된다. 제어장치의 모든 주요 부분들은 주/예비의 이중구조로 설계되어 고장을 포함한 어떤 상황에서도 항상 시스템을 제어할 수 있다. 자동운전에는 전류제어, 전력제어, 점호각제어, 주파수 제어, 변조제어 방식의 운전이 가능하며 HVDC링크의 주 제어는 전류제어가 되도록 설계한다.

2.3.2 변환설비 개요

1) 사이리스터 밸브(Thyristor Valve)

변환설비의 핵심으로 직류와 교류를 상호 변환시킨다. 육지 측 교류 154kV를 직류 250kV로 변환하여 송전한다.

후 반대편 밸브에서 다시 교류 154kV로 변환하여 제주측 계통에 연계 한다. 조류를 반전시켜 역 송전 하는 경우에도 이와 동일하다. 사이리스터 및 관련 부품들은 열에 매우 민감한 소자들이다. 따라서 적절한 냉각장치를 구성하여 최상의 상태로 유지시켜 주어야 한다. 밸브 냉각 시스템의 주회로는 미네랄이 제거된 수냉각 형식으로 water-to-air 열 교환기를 사용하는 방식이다.

2) 변환용 변압기(Converter Transformer)

변환용 변압기는 직, 교류 변환 과정의 핵심 부분으로 각 변환소에는 Pole 당 1대씩 설치되어 있다. 계통전압을 사이리스터 정격에 적합한 전압으로 바꾸는 역할을 할 뿐 아니라, 사이리스터 전류(轉流)시 전류치를 제한하는 Reactance 역할도 수행한다. 변압기는 유입형으로써 변환용 삼상 3권선 변압기가 사용된다. 부하시 탭 절환장치(On Load Tap Changer)를 부착하고 이를 통해 전압을 조정함으로써 변압기의 효율적인 동작을 유지하게 된다. 예비변압기는 각 변환소에 각각 1대씩 구비하게 되며, 고장시 접속이 용이한 구조로 설계된다.

3) AC 필터(AC Filter)

컨버터 운전 시 발생하는 고조파는 전파방해, 연계된 설비의 과열, 공진으로 인한 과전압, 컨버터 control의 불안정 등의 영향을 일으킨다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 AC 필터를 설치하여 고조파를 시스템에서 감소시켜야 한다. 또한 컨버터 운전 중 흡수되는 무효전력을 보상하기 위해 무효전력을 공급하는 역할도 한다. 따라서 AC 필터를 설계할 때는 정상 동작 상태에서 HVDC 링크에서 소비되는 무효전력을 고려하여 AC 계통의 불평형 무효전력이 최소화 되도록 필터뱅크의 용량을 결정하게 된다.

4) 평활 리액터(Smoothing Reactor)

평활 리액터는 사이리스터에서 정류된 DC 전류의 리플을 평활하여 깨끗한 전류를 만들어 내는 역할을 한다. 또한 전류(轉流)실패(Commutation Fail)시 사이리스터 밸브로 유입되는 전류를 제한하거나, Surge Arrester에서 사이리스터 밸브로 흐르는 방전전류를 제한하여 사이리스터 밸브를 보호하는 역할을 한다. 따라서 평활 리액터가 제 기능을 유지하기 위해서는 인버터측의 전기적인 By-pass 또는 DC 케이블이나 시스템의 고장 시 증가하는 전류를 감쇄하고 정상 운전중 발생하는 과전류 및 고속반전과 관련된 스트레스에 견디도록 설계되어야 한다.

2.3.3 케이블 개요

2차 HVDC 건설사에서는 HVDC 케이블 4선, 광통신 케이블 2선으로 총 6선의 케이블이 포설된다. 케이블의 전체 길이는 약 122km 이고 해저케이블 106km, 육지 케이블 약 17km이다. 케이블은 해양현황 및 경파지에 대한 경밀 조사를 실시한 후 케이블 루트를 선정하게 된다. 케이블이 포설되는 해저구간의 평균수심은 약 71m 이며, 최대수심은 약 160m이다. 해저구간의 HVDC 케이블

회선 간 포설간격은 매설지점 수심의 3배 이상을 이격하는 것을 원칙으로 하고 있다. 케이블의 포설단면은 그림 2에서 보는 바와 같다. 사용되는 케이블의 절연 레벨은 뇌 임펄스 전압 750kV, 개폐 임펄스 전압 625kV이며 이와 같은 이상전압에 의해 케이블이 손상을 입지 않도록 절연을 고려하여 설계한다. 케이블에 의한 손실은 정격용량인 200MW의 3.0% 이내가 되도록 한다. 해저케이블의 보호공법은 구간별로 각각 다른 공법이 적용된다. 각 구간별로 W-Mattress, A-Duct, 우레탄보호판, Rock Berm 또는 Stone Bag 등의 보호공법 중 토질조건과 수심, 해류 및 어업형태 등의 현장 여건을 고려하여 적절한 공법으로 케이블을 보호하게 된다.

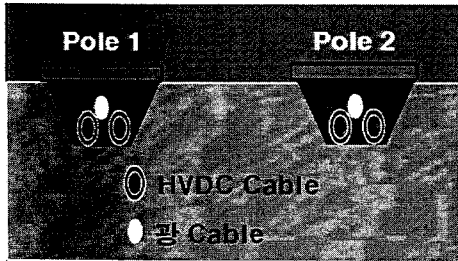


그림 2. 해저케이블 포설 단면

2.4 1차 HVDC 시스템 업그레이드

현재 운전중인 해남~제주간 HVDC는 DC±180, 전체용량 300MW의 시스템이며 2차 HVDC 건설이 완공된 후 기존 HVDC의 보호 및 제어시스템을 교체할 계획이다. 교체되는 보호 및 제어시스템은 신설 HVDC와 동일한 성능과 기능을 갖게 되며, 전력의 양방향 송전이 계통의 전력 공급 상황에 따라 자동으로 변경될 수 있도록 설계된다. 신설 HVDC와 기존 HVDC의 제어시스템은 AC 계통 조건에 따라 상호 간섭 없이 통합 급전소와 변환소에서 통합운전이 가능하도록 시스템이 구성된다.

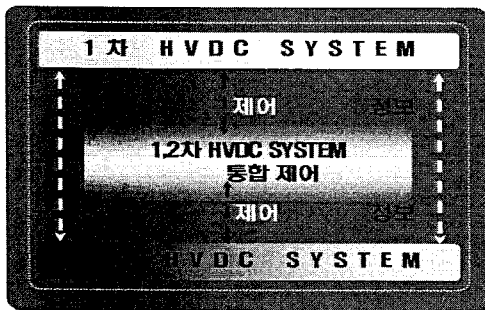


그림 3. 1,2차 HVDC 시스템 통합운전

3. 결 론

2006년 4월 제주도는 전체정전 사고가 발생하였지만 이는 HVDC 시스템의 취약성 때문에 발생한 문제만은 아니었다. 해저케이블 손상에 의한 고장을 해소하는 과정에서 제주계통의 발전기가 부하에 응동하지 못하고 연속적으로 계통에서 탈락하면서 광역정전으로 이어진 것이다. 제주지역 발전기에 고장이 발생하면 UFR 자동부하차단시스템이 동작하여 부하가 연속으로 탈락하게 되어 정전으로 이어질 위험이 상존한다. 하지만 2000년부터 2007년까지의 통계를 보면 발전기 고장 시 HVDC 시스템의 부하 추종으로 인하여 총 61건의 정전 사고를 예방 하였다. 해남-제주간 HVDC 시스템으로 인하여 더 많은 정전 사고가 사전에 예방된 것이라 할 수 있다. 추가 HVDC를 건설하게 된다면 부하추종 능력은 지금보다 2배 이상으로 향상되어 더욱 더 신뢰성 있는 전력 공급이 가능하게 된다. KEPCO에서는 지속적인 운전기술 축적과 연구를 통해 HVDC에 의한 고장을 최소화 하는 노력을 하고 있으며 2007년에는 정전으로 이어진 고장 발생이 단 한건도 없었다.

제주 전력계통은 매년 전력수요가 점증하고 있을 뿐만 아니라 좋은 풍황 조건을 바탕으로 한 풍력 발전력을 비롯하여 다양한 신재생에너지 기술 개발의 의지를 보이고 있다. 육지에서의 고품질 전력을 안정적으로 공급하여 제주 전력계통을 안정화 하고 더불어 풍력발전의 활성화를 동시에 이루기 위한 가장 좋은 방안으로서 본 2차 HVDC 건설사업이 진행되고 있다. 2차 HVDC 시스템이 성공적으로 완공되고 1차 HVDC 시스템과의 연계 통합 시스템이 구축되면 확실한 전력 인프라가 구축되는 것이라 볼 수 있다. 이와 더불어 변환기술 자립을 위한 노력과 기술 축적 노후를 바탕으로 한 효과적인 운영이 병행된다면 제주 전력계통의 안정을 위한 충분한 방안이 될 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김정운, 남기창, 이주형 "HVDC SYSTEM", 한국전력공사.
- [2] 문승일, 이강완, 원동준 외 "제주계통의 풍력설비 한계운전 용량 및 계통운영방안 연구", 기초전력연구원, 2008.
- [3] 팍주식 "싸이리스터와 전력변환기", 전력연구원 2000.
- [4] 심용보, 이동일, 고훈연, 김찬기, 우정욱, 팍주식 "A Basic Technology Development of HVDC Transmission System", 전력연구원, 2001.
- [5] 장길수 "전력시스템 연계를 위한 직류송전기술", 한국전기공사협회, 제20권 3호, 2003.
- [6] 윤재영 "A study on the development of bulk-power HVDC transmission system" 한국전기연구원, 1995.
- [7] 신구용 "중국 교류 1000kV 및 직류 800kV급 초고압 송전 기술 개발 동향", 전력연구원, 2008.
- [8] 김찬기, 장길수, 임성주 "HVDC와 전력전자", 생능출판사, 2006.