

60MW급 HVDC 시스템 설계 기술 개발

이욱화*, 정용호*, 심정운**, 문형배**
LS산전*, 한국전력공사**

The development of 60MW HVDC System Design

UK-HWA LEE*, YOUNG-HO CHUNG* J.W. SHIM* H.B. MOON**
LSIS*, KEPCO**

ABSTRACT

국내에서 HVDC (High Voltage DC transmission System) 관련 기술은 한국전력공사 및 전력연구원 중심으로 제주와 해남간 설치된 HVDC시스템의 설치 및 운영 기술에 많이 국한되어 있었다. 그러나 기술을 바탕으로 2010년부터 민간기업인 LS산전과 한국전력공사의 공동 개발을 통하여 60MW ±80kV급 전류형 HVDC시스템 설계 및 제작을 추진하여 시스템 설계, 기기 설계 사양, 제작사양서 등의 설계 핵심 기술을 상당부분 확보하는 계기가 되었다. 현재 설계된 Pilot HVDC 시스템은 제작 완료되었고, 제주 실증단지에 설치 및 시험 중에 있으며 2012년 내에 실증운전을 통해서 최종적으로 시스템 설계 기술을 검증할 계획이다. 이 같은 연구를 통하여 상당부분 HVDC 시스템에 대한 독자적인 설계 능력을 갖추게 될 것이다.

1. 서 론

HVDC시스템 설계는 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 시스템 성능 요구사항 정의, 시스템 정격 선정, DC 송전 용량/전압 결정, DC연계점 위치, 상세 단선도 작성, 계통 검토 등을 포함하는 개념 설계 단계로써 주로 발주자(Owners)에 의해서 작성되는 시스템 검토사항이다. 두 번째는 발주자에 의해서 제시된 송전용량 전송을 위한 요건 검토, 필요한 무효전력 보상장치 설계, AC필터 설계, 제어시스템 설계, 기기간 절연협조, AC/DC Yard기기 규격 설계, 변환소 설계 등을 포함하는 상세 설계로서 이는 주로 기기 제조업체에서 수행하는 시스템 설계 항목이다. 본 원고에서는 기기 제조업체 입장의 시스템 개념설계, 계통 검토, 절연설계, 주요기기의 정격 설계 등을 소 개한다.^[1]

2. 시스템 설계

본 장에서는 제주 실증단지 ±80kV HVDC 시스템과 관련된 주요 시스템 설계 결과를 나타내고 있다.

2.1 개념 설계

본 시스템의 개념 설계의 주요 내용은 다음과 같다. 금번 구축된 HVDC시스템은 전류형 Point to Point 방식의 설비로써 송전하는 변환소와 수신하는 변환소가 있다. 각각의 변환소는 2개의 Monopole이 직렬 연결된 Bipole 시스템으로 구성이 된

다. 각 변환소의 Monopole의 용량은 30MW이며, Bipole의 경우 60MW이다. 제주 실증단지에 건설되는 송전측 정류기 모선은 금악 C/S(Converter Station)이고, 수신측 인버터 모선은 한림 C/S이다. 이에 대한 사양은 정리하면 다음과 같다.

- (1) 정격용량(Bipole 기준) : 60MW
- (2) 정격용량(Monopole 기준) : 30MW
- (3) 전력조류 방향 : 양방향 조류 가능
- (4) 정격 DC 전압(pole to ground) : ± 80kV
- (5) 최소 송전 용량 : 정격용량의 10%
- (6) 정격 전류 : 378A
- (7) 최대 DC 전압 : ±90kV
- (8) 최대 극성 반전 시간 : 1분 이내
- (9) 과부하 용량 : 120% / 10초

DC 송전선로의 거리는 총 5.3km이며, 이 중에서 가공송전선로는 4.8km이며 케이블은 0.5km구간이다. 이 구간에선 +80kV, 80kV, 중성선 등 3개 DC 선로가 설치되어 전력을 송전하게 된다. 실증단지 ±80kV, 60MW 시스템은 정격의 개념도는 그림 1과 같다.

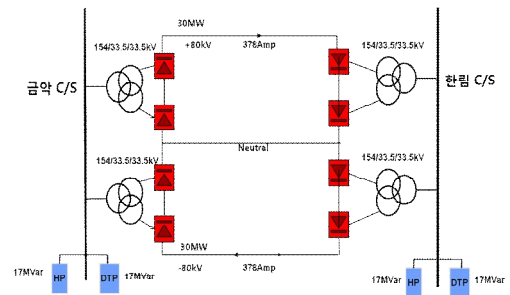


그림 1 ±80kV HVDC 개념도

2.2 계통 검토

설치할 HVDC 시스템이 계통에 미치는 영향을 검토하기 위해서 조류계산 및 단락용량 검토, 발전기와의 준공진(Sub Synchronous Oscillation) 검토, HVDC가 포함된 계통에서 과도안정도 검토, 동특성 해석, 등을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

2.2.1 전력조류 및 단락용량 검토

전력조류는 주로 정상상태에서의 시스템 내의 전류흐름과

전압을 조사하는데 사용된다. 전력조류 연구를 위한 DC 모델은 유효전력, 무효전력, HVDC 시스템 터미널에서의 AC 전압 상태를 정확하게 표현해야 한다. 금악 변환소와 한림 변환소 간의 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 조류 검토를 위해서 2012년 침두부하와 비수기 부하, 2017년 침두부하와 비수기 부하 등 총 4개 경우에 대해 검토하였는데, 모든 경우에 대하여 조류나 전압의 문제가 발생하지 않는 것으로 검토되었다.

HVDC가 연계된 교류지점에서 송전할 전력의 공급이 가능한지를 판정하기 위해서는 그 지점에서의 단락비 (Short Circuit Ratio: SCR)를 구해야 한다. 계통의 단락용량과 송전할 HVDC 용량의 관계는 식 (1)과 같다.

$$SCR = \frac{\text{Short Circuit Capacity (MVA)}}{\text{HVDC Transmission Rating (MW)}} \quad (1)$$

단락비가 $1.0 < SCR < 2.5$ 이면, 교류시스템이 약한 것을 의미하고 효과적으로 HVDC 시스템을 운전하기 위해서는 특별한 무효전력 공급 설비의 설계가 필요하다. $SCR > 2.5$ 이면 교류시스템이 강함을 의미하며 별도의 추가 설비가 없이도 주어진 지점에서 DC 전력을 전송하여도 AC시스템에 문제가 없는 것으로 알려져 있다. 제주 실증단지 교류연결 지점에서 해석된 단락비 및 유효단락비는 표 1과 같으며 대부분 2.5 이상으로 계통에 추가 설비 없이 계획용량을 송전할 수 있는 것으로 판단된다.

표 1 실증단지 SCR 분석 결과

154kV 변전소 (모선번호)	2012년		2017년		AC계통 Strength (SCR) - H : >2.5 - L : 1.5-2.5 - VL : <1.5
	Peak	OFF-Peak	Peak	OFF-Peak	
	SCR	SCR	SCR	SCR	
한림 C/S (330)	23.5	17.3	24.9	15.2	High
금악 C/S (360)	24.2	17.7	25.7	15.5	High

2.2.2 발전기와의 공진 검토

발전기와의 공진 검토(SubSynchronous Oscillation : SSO)는 주로 HVDC의 제어장치와 교류계통 간의 제어상호작용(저주파수나 고주파수에서)을 조사하고, 이를 근거로 HVDC 제어 장치의 설계를 지원하기 위한 목적으로 이용된다. 본 원고에서는 제주실증단지에서 발전기와 HVDC 컨버터 변환소 사이의 상호작용에 대해 기술하였다.

설치된 HVDC 시스템 근처에서 발전기와의 상호작용에 기인하는 공진시 발생하는 비틀림 불안정성(torsional instability)의 가능성은 발전기와 HVDC 시스템의 전기적 거리에 의존한다. 이러한 전기적 거리는 Unit Interaction Factor (UIF)로 정의되며 계산된 UIF의 값이 0.1보다 작으면, 인근 발전기와 설치될 직류 제어기 사이에서 공진 등 상호영향은 작은 것으로 판단된다. 만약 UIF가 0.1을 초과하면 상세한 연구가 요구되는데, 본 제주실증단지의 해석 결과는 0.1이하인 것으로 확인되었다.

2.2.3 안정도 검토

HVDC 동작에 따른 교류시스템의 동특성(과도안정도)을 검토하여야 한다. 교류계통에 미치는 주요 동작특성으로 필터투입 체 HVDC 블록킹, 인근주요 교류선로 사고, 기존 제주

HVDC설비의 블록킹 등이다. 본 연구에서는 2012년 피크 및 오프 피크 계통 PSS/E 데이터틀 이용하여 주요 동작에 따른 안정도 모의 검토를 수행하였으며 모든 경우에 안정한 것으로 확인되었다. 그림 2는 교류선로 사고 후 일정 시간 후 HVDC의 동작(정류기측 및 인버터측)이 회복된 경우를 보이고 있다.

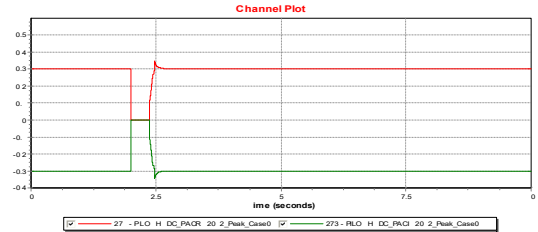


그림 2 선로사고 후 HVDC 회복 특성(60MW DC송전)

2.3 HVDC시스템 절연설계

제주실증단지 HVDC 변환설비의 절연설계는 교류나 직류계통에 나타나는 임펄스나 과전압의 충격으로부터 주요 기기 (변압기, 싸이리스터 Valve 등)를 보호하기 위해서 설계되었고 신뢰성 있고 경제성이 확보된 변환설비의 절연설계를 위해 IEC60071 1, 2, 5의 기준을 따랐다. 제주 실증단지의 밸브, 밸브의 고압측, 중간측, DC 중성선 및 저압측, DC 고압측 선로, 변환용 변압기 교류 1차측, 교류 필터에 각각 보호용 피뢰기 설계하여 피뢰기의 위치는 그림 3과 같다.

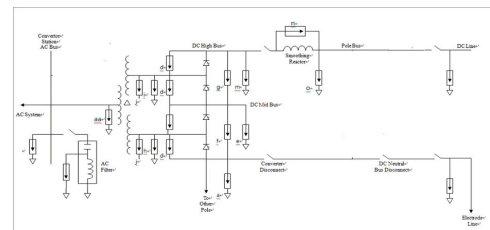


그림 3 HVDC 시스템 피뢰기 설치 위치

3. 결론

±80kV HVDC 제주 실증단지의 시스템 설계를 통하여 기본설계, 송전용량, 직류 정격 등 기본 설계 능력과 밸브 시스템, 고조파 필터, 변환용 변압기 등 주요 기기의 정격 상세 설계능력 및 직류 고조파 해석, 절연설계 등 직류 시스템 회로 분석 능력을 확보하였다. 뿐만 아니라 계통에 투입된 HVDC에 따른 계통의 조류해석 및 안정도 검토를 위한 컴퓨터 모델 등을 개발하였다. 이러한 결과물들은 향후 발생할 수 있는 대용량의 HVDC 프로젝트의 시스템 설계에도 적용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] D. Wilhelm, "High Voltage Direct Current Handbook, First Edition"
 [2] S. Kresge and E. C. Sakshaug, "Zinc Oxide Experience and Applications of HVDC Stations," IEEE Conference on Overvoltage on Integrated AC DC Systems, Winnipeg, Canada, July 9 11, 1980.