

HVDC 시스템 기술적 동향(하)

양병모 · 김찬기 · 고봉언 · 정길조
한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실

4. 제주-해남 HVDC 시스템

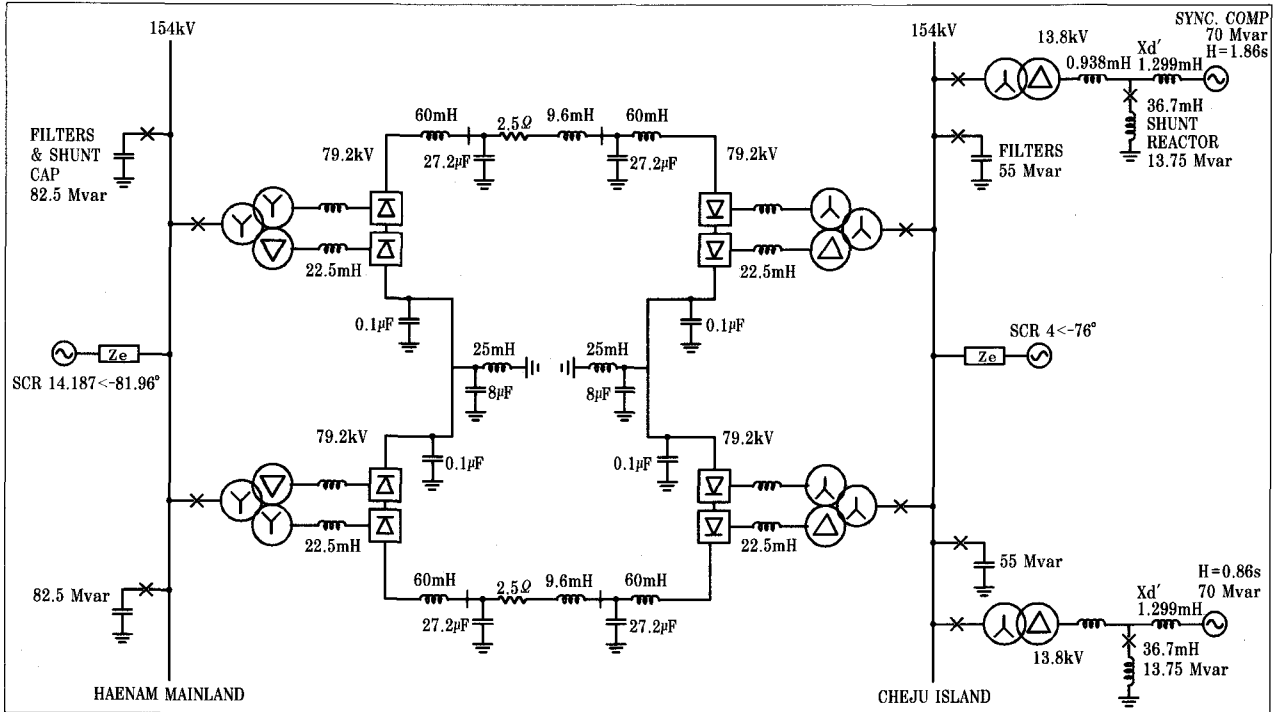
그림 7은 제주-해남 HVDC 시스템에 관한 단선도이다. 제주지역의 전원설비는 단위용량이 75MW 이하인 소규모 설비가 많고, 고가의 경유를 사용하는 침두용 설비의 구성비율이 높은 편이며, 2000년 준공된 북제주화력(75MW×2)을 포함하여 현재 530MW의 설비용량을 갖추고 있으나 발전설비 노후화 등으로 실제 가능출력은 총 445MW이다.

1998년 3월 상업운전을 개시한 제주-육지간 HVDC 연계설비는 동일한 용량의 변환기 2조와 HVDC 케이블 2회선을 Bipole로 구성된 설비로서 각 변환기가 독립적으로 150MW 정격을 가지고 있으나, 한 pole 고장 시 제주계통 안정을 도모하기 위하여 변환기 두 대의 출력합계를 150MW로 제한하고 있으므로 제주도 발전설비와 HVDC 변환설비를 포함한 전원설비 합계는 595MW이다.

가. 제주-해남 HVDC 시스템 설비현황

기존 제주-육지간 전력계통 연계설비는 육지 및 제주지역의 경제성과 신뢰도를 고려하여 해남변환소(육지쪽) 교류인입모선을 이중화하여 154kV 해남변전소와 154kV 남창변전소로부터 각각 전력을 공급받을 수 있도록 구성되어 있으며, 제주변환소(제주쪽)는 북제주발전소 내의 변전소를 한라변전소 및 동 제주변전소를 연결한 환상망으로 구성되어 있다.

제주지역의 발전설비는 대부분 소규모 발전소 화력이나 내연으로 발전원가가 육지에 비해 높고, 소규모 독립계통으로서 설비 이용률 및 열효율이 대체적으로 낮다.

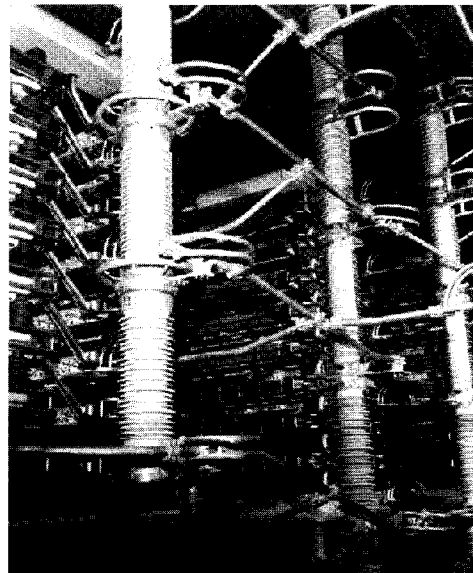


〈그림 7〉 제주 - 해남 HVDC 시스템 단선도

제주지역은 도서지역이라는 특수성으로 인하여 대부분의 설비가 해안선을 따라서 밀집되어 있으며, 태풍, 염해 등으로 인한 피해 및 사고방지를 위해 육지보다 유지보수비가 높은 수준이다. 따라서, 제주도의 변전소는 모두 GIS 형식으로 되어 있는 것이 특징이다.

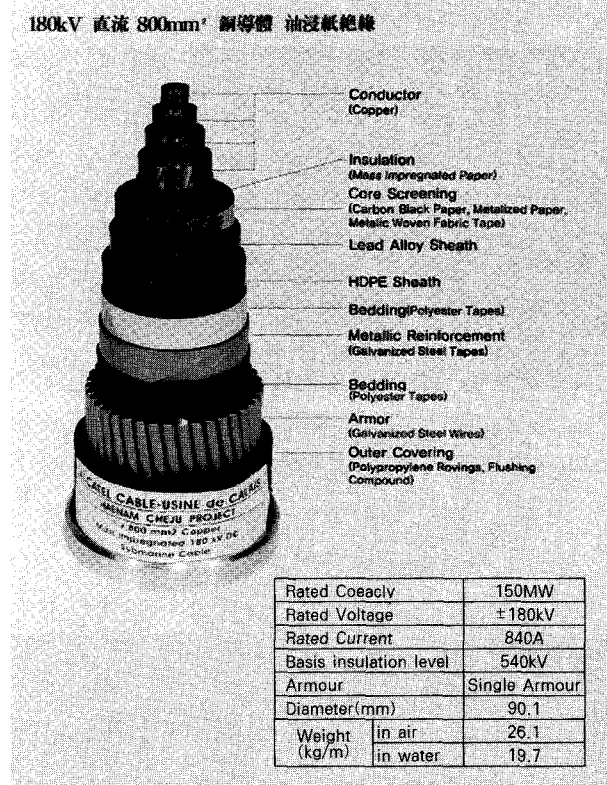
▶ HVDC 시스템 설비 현황

- (1) 설비용량 및 전압 : 300MW(150×2pole), ±180kV DC
- (2) 주요설비의 제원
 - (가) 변환용 변압기
 - 정격전압 : 154/79.2/79.2kV
 - 정격용량 : 188.2/94.1/94.1MVA



〈그림 8〉 밸브 구조

- Tap 수 : 21
- 냉각방식 : OFAF
- (나) 사이리스터 밸브(그림 8 참조)
 - 정격전압 : 154/79.2/79.2kV(Y-Y-Δ)
 - 사이리스터 수 : 552개/pole(광점호 12pulse)
- (다) 고조파 필터 : 27.5MVAR 2조(11, 13, 23차 이상)
- (라) 평활 리액터 : 60mH
- (마) 냉각설비
 - 외부 열교환기 : 6조(각 조당 3개의 Fan으로 구성)
 - 냉각수 순환 및 감시장치, 전기적 결합 큐비클
 - 외부 파이프 배관 및 밸브와 연결된 제반 장치
 - 냉각장치제어 및 순환모터 제어소
- (바) 광전송설비 : 90Mbps(#1), 2.5Gbps(#2)
- (사) 전극소
 - 정격전류 : 850A
 - 과부하정격 : 1530A
 - 설계수명 : 40년
 - 전극봉 : 20개
- (아) 직류 케이블(그림 9 참조)
 - 설치 길이 : 101km×2회선(해저 96km, 육지 5km)
 - 케이블 종류 : Cu MI(Mass Impregnated Paper Insulated Cable)
 - 도체단면적 : 800mm²
 - 케이블 허용전류 : 840A
 - 케이블 외경 : 해저(90.1mm), 육상(75.2mm)
 - 케이블 중량 : 해저(26.1kg/m-공기중, 19.1kg/m-수중), 육상(17.4kg/m)
- (자) 광통신 케이블
 - 선로설비 : 광통신(101km×2), 12Core
 - 전송설비 : 90Mbps급(#1), 2.5Gbps급(#2)



〈그림 9〉 제주 - 해남 HVDC 시스템 케이블 구조

- (3) 주기기 공급
 - (가) 직· 교류 변환설비 : GEC Alsthom
 - (나) 직류 케이블 : 프랑스 Alcatel Cable
 - Pole #1 Alcatel Cable(프랑스)
 - Pole #2 Pirelli Cavi(이탈리아)
 - (다) 광통신 케이블 : Alcatel Kabel(노르웨이)
 - (라) 광전송설비 : 삼성전자
- (4) 시공
 - (가) 직· 교류 변환설비 : 영국 GEC Alsthom사
 - (나) 직류 및 광통신 케이블 : 프랑스 Alcatel Cable사
- (5) 공사기간 : 1991.10~1998.2

〈표 1〉 제주 전력계통의 첨두 전력

구 분	1999	2000	2005 (예상치)	2010 (예상치)	2015 (예상치)
첨두부하 (MW)	272.8	326.1	465.2	636.5	840
성장률 (%)	-3.8	19.5	8.5	7.2	7.3

나. HVDC 시스템의 환경적 고려

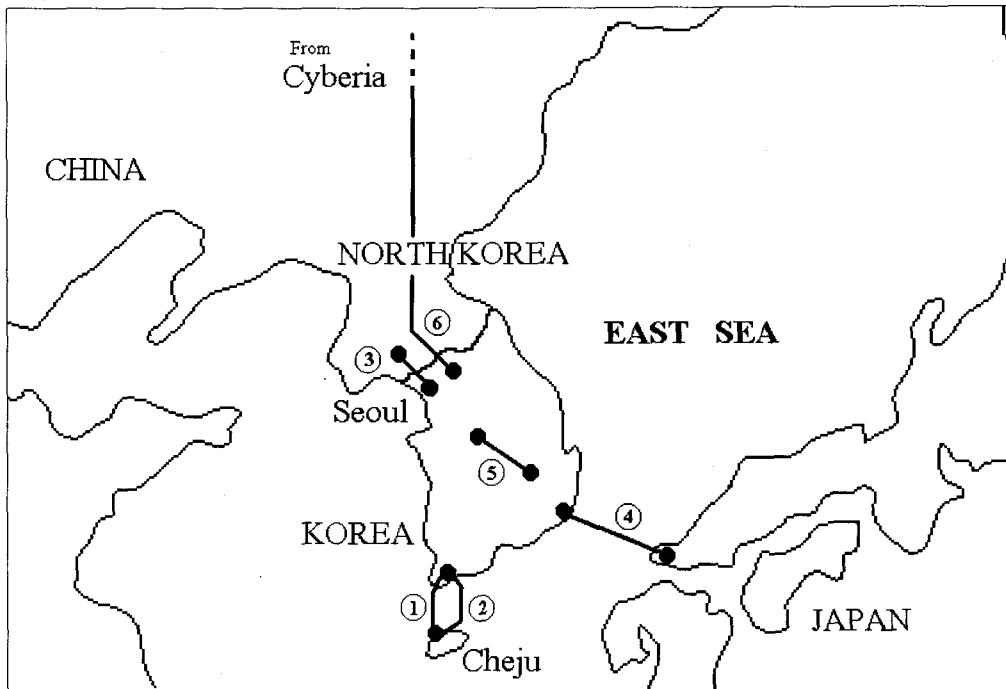
제주는 육지와 멀리 떨어져 있으며 관광이 주 산업인 아름다운 섬이다. 그래서 환경적인 문제가 매우 중요하다. 그래서 한국전력공사는 제주-해남 HVDC 시스템으로 인해 매년 8천만불의 경제적인 이익을 얻고 있다. 표 1은 제주도에서 첨두 부하의 증가량이 매년 8%의 성장률을 보여 주고 있다. 표 2는 제주도에서 HVDC 시스템과 가스터빈 사이의 경제성 평가를 보여주고 있다. 환경적인 요소를 고려하면 제주-해남 HVDC 시스템은 보다 많은 이익을 내고 있다.

〈표 2〉 현재 건설된 북제주 2, 3호기와 HVDC의 경제성 비교

구 분	북제주화력 2, 3호기	HVDC
건설비	2200억원	2900억원(케이블 보호대책 공사 추가분 포함)
인건비	22.8억원(1.73원/kWh)	7.8억원(0.6원/kWh)
운전경비	61.19원/kWh (제주지역 연료비 원가)	13.95원/kWh ('99년 기준)
운영인원	58명	28명(현재인원)
운전용량	150MW	150MW
보수비	13.83원/kWh ('98년 전국 중유발전기 평균)	2.2원/kWh ('99년 기준)
계	61.19+13.83+1.73원/kWh =76.75원/kWh	13.95+2.2+0.6원/kWh =16.76원/kWh

$(76.75 - 16.76) \times 150\text{MW} \times 24\text{h} = 215,964\text{천원/일}(788.2\text{억원/년})$

템과 가스터빈 사이의 경제성 평가를 보여주고 있다. 환경적인 요소를 고려하면 제주-해남 HVDC 시스템은 보다 많은 이익을 내고 있다.



〈그림 10〉 한반도 주변의 HVDC 시스템 연결

5. 한반도 주변에 대한 HVDC 시스템 연계방안 계획

그림 10에서 표시된 번호는 다음과 같다.

- ① 제주-해남 HVDC 시스템 #1(운전중)
- ② 육지-제주 HVDC 시스템 #2(계획중)
- ③ 남북한 HVDC 시스템
- ④ 대한민국-일본 HVDC 시스템
- ⑤ 서대구-신옥천 HVDC 시스템
- ⑥ 대한민국-시베리아 HVDC 시스템

① 제주-해남 HVDC 시스템 #1은 1998년에 GEC Alstom에 의해 건설되었으며 현재까지 운전중에 있다. HVDC 설비의 제주계통 도입에 따른 효과를 경제적인 측면에서 보면 고정비 절감 즉 육지 최대 수요와 제주 수요 불일치에 따른 발전설비용량 효과와 변동비 절감 즉 연료비 절감의 효과를 볼 수 있다. 그리고 계통관점에서 바라보면 다음과 같은 효과가 있다.

○ 무효전력 설비의 확보 : HVDC 설비를 제주계통에 도입함에 따라 무효전력 공급설비의 다양화에 기여하게 된다.

- 고조파 필터의 무효전력 공급
- Shunt 리액터
- 동기 조상기

○ 주파수 변동을 감소 : 전력사용의 고급화와 정주파수 운전이 요구되는 부하, 정보통신, 컴퓨터 설비의 증대에 따라 정주파수 운전이 요구된다. 정주파수 운전을 하기 위해서는 유효전력을 조정하는 설비 즉, 부하추종설비의 성능에 전적으로 의존하게 된다. HVDC 설비 도입 이전에는 발전기의 Governor로 주파수를 제어하였다. 제주도의 경우 전력계통 규모가 적은 관계로 부하 변동에 따른 주파수 제어를 예

민하게 해야만 가능하다. HVDC 설비의 도입에 따라 변환기의 신속한 점호각 제어에 따라 정주파수 운전모드로 운전함으로써 주파수 유지 특성이 매우 양호하게 되었다.

○ 대용량 발전기 사용에 따른 안정도 향상 : HVDC 설비 설치 이전에는 관성 Moment가 적어 안정도가 낮기 때문에 송전선로 혹은 대용량 배전선로의 고장 시에도 계통 안정도에 영향을 미치는 경우가 있었다. HVDC 설비 도입에 따라 관성이 큰 70MVA 동기 조상기를 사용함으로써 안정도가 향상되는 결과가 된다. 또한 연계설비는 발전기 탈락시 부족부하가 75MW 이상 즉시 backup됨으로써 소규모 발전기를 다수 건설하는 것보다 소수 대용량 발전기를 건설할 수 있으므로 MW당 발전소 건설비 절감, 발전기 종합효율 향상, 부지 사용의 효율 및 운영비의 절감 등 효과를 기할 수 있게 되었다.

○ 공해물질 배출 억제에 따른 환경개선 : 제주도는 지역 전체가 관광지이므로 전력생산에 따른 공해물질 배출을 억제할 필요가 있으며, 실제 환경규제를 하고 있다. 소규모 발전설비의 환경규제요건 만족을 위해서는 많은 비용이 소요된다. 물론 제주도에서 사용할 전력을 육지에서 발전하는 경우에도 육지에 미치는 영향은 상존한다. 그러나 육지의 경우 대규모 환경개선 설비를 사용함으로써 제주도측 환경대책비 비용보다 적게 사용된다.

○ 전원입지의 절감 : 제주도의 최대 단위기 용량이 1MW, 5MW 등으로 단위 MW당 전원입지 소요면적이 육지보다 많이 소요된다. 또한 발전소는 주로 해안가에 위치하게 됨으로 전원입지뿐만 아니라 연안어업과 관련된 장애요소가 있다.

② 육지-제주 HVDC 시스템 #2는 제주가 현재 부하증가량이 연 8%로 5년 안에 추가 증설이 필요하

기에 표시하였다.

- ③ 남북한 HVDC 시스템 연결은 AC 계통의 상호 연결이다. 연결 목적은 북한에 전력공급을 위한 것으로 같은 주파수(60Hz)를 사용하지만 전력품질문제와 전력량의 조절이란 선택사항이 정치적인 문제와 연결되어 있기 때문에 이 시스템을 여러 선택 중에 하나로 검토할 수 있다. 그러나 얼마나 많은 문제가 있는지는 아직 알려져 있지 않다. 최근 북한의 전력상황에 대한 연구가 진행되어 그 결과는 다음과 같다.
 - 시스템 주파수는 60Hz로 한국과 같다.
 - 발전용량은 약 6450MW이며 이 중 수력이 3600 MW를 차지한다.
 - 현재 북한은 50억kWh/년의 전력량을 겪고 있으며 이것은 평균 약 50MW의 부하를 공급하지 못하고 있는 것과 같다.
 - 북한은 발전소와 송배전선의 신뢰도 때문에 주파수와 전압을 제어하기가 어렵다.

이러한 특성을 고려해 볼 때 남한과의 직접적인 교류 연결은 남한의 많은 전력문제를 일으킬 수 있으므로 상호 연결은 HVDC가 매우 유용하다고 여겨진다.

- ④ 대한민국-일본 HVDC 시스템은 AC 계통의 상호 연결이다. 연결 목적은 대한민국과 일본의 부하 첨두치가 시간적으로 차이가 있기 때문에 계통 연계를 통하여 효율적이면서 경제적인 효과를 볼 수 있다.
- ⑤ 서대구-신옥천 HVDC 시스템은 AC 계통의 상호 연결이다. 연결 목적은 남한내 동서에서 발생하는 전력흐름의 불균형을 방지하기 위한 대책의 하나로써 검토될 수 있다.
- ⑥ 대한민국-시베리아 HVDC 시스템은 시베리아의 발전소에서 싼 연료로 발생한 전력을 대한민국과 일본으로까지 수송하여 경제적인 이익을 얻기 위한 것으로 검토될 수 있다.

6. 맺음말

국내 전력산업은 환경문제, 국내 수요 증가, 발전소 추가 건설 그리고 투자회수의 불확실성 등 많은 문제를 안고 있기 때문에, 이러한 어려움을 극복하기 위해서는 새로운 기술의 도입이 절실히 필요하다고 생각된다. 특히 기존의 AC 시스템에 DC 시스템을 추가하여 전력산업이 갖고 있는 문제점을 해결하고 전력계통의 효율을 극대화 할 수 있으며 전력계통 강도와 안정도를 크게 향상시킬 수 있는 HVDC 시스템의 기술은 현재 가장 각광받는 기술이라고 생각된다.

현재 한전 전력연구원에서는 HVDC 시스템과 관련하여 '97년부터 기존의 제주-해남 HVDC 시스템에 대한 연구와 기술지원을 자체적으로 수행하였고 향후 설치 운영될 차세대 HVDC 시스템에 대한 연구를 진행할 예정이다.

<한전 전력연구원의 HVDC 시스템관련 자체 수행 과제 목록>

- 직송전류 시스템의 기반기술 개발(1997. 10~2000. 7)
- 제주-해남 HVDC 시스템 변환설비 운영기술 개발 (1999. 7~2001. 6)
- 제주-해남 HVDC 시스템의 디지털 시스템 개발 (2001. 3~2004. 2)
- 3/5세대 HVDC 제어기 개발(수행 예정)

<참고문헌>

- (1) Impact of New Technology on the Korean Electricity Industry, D.W. Park, IEEE Power Engineering Review, July 2001
- (2) Cheju-Haenam HVDC System manual, GEC Alsthom, 1998
- (3) 제주-육지간 HVDC 연계설비 추가건설 타당성 검토보고서, 한국전력공사, 2000
- (4) Electric Infrastructure Needs, ABB, 2001