

부하집중지역 직류송전 경제성 검토

차준민 김준형

대전대학교 전기정보시스템공학과

An Economic Evaluation of HVDC Line to a High Load Density Area

Jun-Min Cha Jun-Hyoung Kim

Dept. of EE Daejin University

Abstract - 최근 세계 여러 나라에서는 적절한 신뢰도나 경제성을 고려해 직류송전방식에 대한 관심이 날로 높아져 가고 있다. 우리나라도 부하가 밀집된 수도권으로 올라오는 송전선로의 병목현상으로 역물이나 주파수 등의 변화가 점점 심해지면서 전력계통의 신뢰도와 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 우리나라 세대의 부하집중지역인 수도권을 대상으로 최적 직류 송전 경로를 임의로 선정하여, 직류 송전 방식을 건설하였을 때와 가공 송전 방식을 건설하였을 때의 건설비, 운영비, 유지 보수 비용 등의 경제성을 비교 검토하고 이에 따른 장점과 단점을 분석함으로써 직류송전방식의 타당성을 검토해 본다.

가.실비현황및 전압:300MW(150MW\*2Pole),±180KV DC 나. 주요 설비의 제원

연계설비는 직교류 변환설비나 직류해저 케이블로 구성된다. 해저케이블은 지절연의 Solid케이블을 사용하였으나 케이블 보호를 위해 연계되어 있다. 또한, 어업 활동 등에 따른 외부손상으로부터 보호하기 위해 콘크리트매트, 덕트 등으로 보호되고 있다. 중선선 방식은 대지귀로 방식을 사용하여 손실이 최소화 되도록 되어 있다.

- 1)변환용 변압기
  - 정격전압: 154/79.2/79.2KV
  - 정격용량: 188.2/94.1/94.1MVA
- 2)사이리스터 밸브
  - 정격전압: 154/79.2/79.2KV(Y-Y-Δ)
  - 점호방식: 광점호 12Pulse
- 3)스무싱 리액터
- 4)냉각방식: 수냉식
- 5)광송전설비: 90Mbps(#1) 및 2.5Gbps(#2)
- 6)전극소
  - 정격전류: 850A
  - 과부하정격: 1530A
- 7)직류 케이블
  - 설치길이: 101Km\*2회선(해저 96km, 육지 5km)
  - 케이블 종류:Cu MI(Mass Impregnated Paper Insulated Cable)
  - 도체 단면적: 800<sup>2</sup>
  - 케이블 허용전류: 840A
- 8)광통신 케이블
  - 선로설비: 광통신(101km\*2), 12Core
  - 전송설비: 90Mbps급(#1), 2.5Gbps

1. 서 론

직류송전은 20~30년 전부터 상용화되기 시작하여 설비량이 계속적으로 늘어나는 방식으로서 AC 전송방식이 가질 수 없는 여러 가지 장점 때문에 최근 많은 주목을 받고 있으며, 우리나라에서도 제주-해남 사이에 연계되어 높은 경제성을 보이고 있다.

현재, 우리나라는 전력산업 구조개편을 진행하고 있으며, 전력거래에 참여하는 모든 전력회사는 경제성과 효율성을 도모하고 있다.

우리나라 송전망은 북상조류로서 남쪽의 발전소들로부터 전력소비가 많은 수도권으로 송전되기 때문에 이를 수송하기 위한 송전망이 건설되어 있다. 특히, 앞으로 수도권에 더 많은 전력소비가 일어나게 될 것으로 예측되고 있는 실정이다.

전력소비가 커지면 송전선에 더 많은 전력이 송전되어야 한다. 이를 충족시키기 위한 송전망이 더 건설되어야 할 것이다.

AC 전송방식은 현재 해남-제주계통을 제외한 모든 계통에서 사용되고 있다. AC전송방식은 세계에서 가장 많이 사용되고 있는 전송방식이다.

HVDC(High Voltage Direct Current)전송방식은 계통연계에서 전압강하가 적다거나 전력을 자유롭게 저장할 수 있는 등의 여러 가지 장점을 가지고 있다.

HVDC 전송방식은 교류전송방식에 비해 건설비는 비싸지만, 유지보수 비용이나 안정성면에서 더 우수한 성질을 갖고 있다고 알려져 있다.

본 논문에서는 우선적으로 부하밀집지역인 수도권으로 연계하는 송전선을 건설할 경우 AC 전송방식과 HVDC 전송방식을 건설비의 경제적인 측면에서 비교 검토하여 본다.

2. HVDC의 특징

2.1 우리나라 HVDC 현황

우리나라는 현재 해남-제주 계통에 HVDC송전선이 연결되어 있다.

2.2 직류송전과 교류송전의 비교

① 전송 능력 비교

직류송전은 일정한 DC 값을 가지고 있는 반면에 AC 송전은 정현파 전압을 가지고 있기 때문에 절연 레벨이 상대적으로 낮고 그에 따른 가격을 고려할 때 직류송전이 유리하다고 할 수 있다.

② 대지 케환 능력

직류 송전은 대지(Earth)를 하나의 도체로 이용할 수 있으므로 AC 전송에 비하여 경제적이다. 따라서 ROW(Right Of Way : 철탑 경유시)를 필요로 하는 지역에서 유리하다.

③ 확장 시스템 개발

직류 송전은 부하용량에 상관없이 임의의 계통에 연계할 수 있어 대도시나 심지역에 설치하면 유리하다.

④ 환경 영향

-청각 잡음 : AC 계통에서는 소음 장애가 문제가 되나 직류송전에서는 큰 문제를 유발하지 않는다.

-라디오와 텔레비전 장애

-이온 발생 : 직류송전에서는 이온이 발생하기 때문에 이것에 대해 충분히 고려해야 한다.

### 2.3 직류송전의 장점

- 1 장거리 전력전송에 있어서는 AC 전송에 비하여 가격이 저렴하다,
  - 2 AC 계통에 영향을 주지 않으며 대용량의 전력 전송이 가능하다.
  - 3 주파수가 다른 계통과도 연계가 가능하다.
  - 4 개별적인 시스템의 일/월/년 부하 사이클이 다르기 때문에 상호 연계시스템망의 최대 부하값이 줄어든다.
  - 5 상호 연계는 전력의 예비율을 낮출 수 있기 때문에 기존에 설치된 발전용량을 줄인다.
  - 6 DC 계통은 주고 싶은 전력의 양과 받고 싶은 전력의 양을 조절할 수 있다.
- HVDC 시스템은 전력을 송전하는데 있어 즉각적인 제어가 가능하기 때문에, HVDC 시스템을 AC 계통의 보조제어기 형태로 사용할 경우에는 다음과 같은 장점이 있다.
- 1 교류계통의 저주파 진동의 억제
  - 2 과도 안정도의 개선
  - 3 계통의란의 분리
  - 4 고립된 소규모 계통의 주파수 제어
  - 5 무효전력 조정 및 Dynamic Voltage Support

### 2.4 HVDC시스템의 신뢰성

HVDC 시스템은 그 구성이 복잡하고, 사용되는 부품 등의 숫자가 엄청나므로 전체 신뢰도를 향상시키는 방법은 정밀한 신뢰도 평가보다는 보편적으로 알려져 있는 Subsystem 연결도로부터 신뢰도가 타부분에 비해 낮은 부분의 신뢰도를 향상시킴으로써 전체 시스템의 신뢰도를 향상시키는 방법을 써야 한다.(소용량의 부품을 여러 개로 나누어 설계하고 운전하는 것이 유리하다.)

실제의 시스템 설계 시 각 부분별 상대 신뢰도를 정확히 알 수는 없지만 컨버터 및 제어부를 다중화시키는 것이 신뢰도 향상의 지름길임은 그간의 운전 경험 등을 통해서도 알 수 있다고 한다. [4]

### 2.5 HVDC 시스템의 구성요소

1 컨버터  
교류/직류와 직류/교류 변환을 수행하고, 밸브 브리지와 탭 전환기가 있는 변압기로 구성되어 있다.

2 평활 리액터  
- 직류 선로의 전압과 전류의 고조파를 줄인다.  
- 인버터의 정류(Commutation), 고장(Failure)을 막는다.  
- 경부하시 정류의 비연속성을 막는다.  
- 직류 송전의 단락 회로 동안 정류기의 전류 파고치를 제한한다.

3 고조파 필터  
컨버터는 직류측과 교류측 양쪽의 전압과 전류의 고조파를 발생시킨다. 이를 방지하기 위해 고조파 필터를 직류측과 교류측 양쪽에 설치한다.

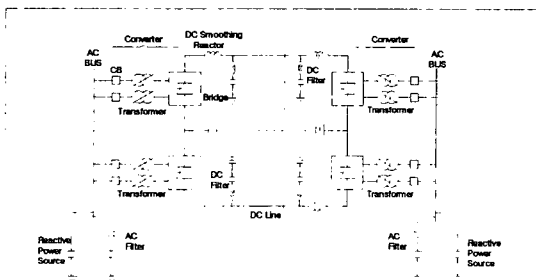


그림 1. 양극 HVDC 시스템의 주요 구성요소의 구성도

### 4 무효 전력 공급원

DC 컨버터는 무효 전력을 흡수한다. 정상 상태 운전 조건하에서, 실제 송전전력의 약 50%가 무효 전력으로 소비되고, 과도 상태에서는 그 이상을 소비하기 때문에 무효 전력 공급 장치를 설치한다.

### 5 전극

직류 연결은 대지가 중성점 도체로 사용되고, 넓은 표면의 도체가 요구된다.

### 6 직류 선로

수많은 컨덕터와 필요 공간을 제외하고는 교류 송전과 매우 유사하다.

### 7 교류 차단기

직류 차단기는 전류 용량이 크데 비하여 교류 차단기는 전류의 영점에서 차단하기 때문에 교류 차단기를 사용한다.

## 3 HVDC 송전선 건설비 산정

### 3.1 HVDC 건설비용

HVDC 송전선을 새로 건설하였을 때의 건설비는 표 1과 같다.

우리나라의 해남-제주 계통을 연결하는 HVDC 송전선을 추가로 연계할 때 드는 비용이다. (총길이: 101km 해저케이블) [2]

건설비는 용량이 클수록 그에 대응하는 건설비가 저렴해지는 것을 알 수 있다.

표 1. 신규 HVDC 설비 건설비 [단위: 백만원]

용량	변환소	케이블	토, 건공사비	동기조상기	송전선보강	합계
100MW 1대	36,000	181,896	11,481	2,202	24,846	256,425
100MW 2대	68,400	279,840	11,481	4,404	24,846	388,971
150MW 1대	44,400	195,888	11,481	2,202	24,846	278,817
150MW 2대	84,000	300,192	11,481	4,404	24,846	424,923
200MW 2대	102,000	321,180	11,481	4,404	24,846	463,911

주1) HVDC 케이블은 1Pole시 2조, 2Pole시 3조 가정  
주2) 변환기 한대당 동기조상설비 1대 기준

표 2. 신규 AC 송전설비 건설비

	154KV	345KV	765KV
송전용량[kW]	15만	90만	420만
손실[%]	1.2	0.26	0.05
공사비[km당]	4.3억	7.5억	23억
1련 애자개수	10	18	45
사용전선	ACSR 410 [mm <sup>2</sup> ] $\times$ 2	ACSR 480 [mm <sup>2</sup> ] $\times$ 4	ACSR 480 [mm <sup>2</sup> ] $\times$ 6
철탑	높이[m]	35	50
	중량[t]	13	45
	부재형상	산형강	산형강
부지면적[평]	40	60	160

### 3.2 건설비 비교

송전선을 새로 건설할 경우 AC 송전을 건설하였을 때와 HVDC 송전선을 건설하였을 경우를 비교해 본다.

AC 송전선을 건설할 경우 표 2와 같다.

HVDC 송전선을 건설할 경우 건설비는 다음 표 1과 같다.(할인율 8%, 유지비: 건설비의 2%)

765KV급 AC 송전선의 건설비와 HVDC 송전선 200MW

급 2대를 설치할 때 드는 건설비를 비교하면 다음과 같다. AC송전선의 용량은 420MW이고, HVDC송전선의 용량은 400MW가 되므로 송전용량이 거의 비슷하다.

1km당 건설비를 보면 AC송전선은 23억원이 HVDC송전선은 약 46억원이 소요되는 것으로 계산된다.

건설비만을 놓고 비교해 보면, AC송전선로의 건설비가 훨씬 적게 든다.

AC송전선로와 HVDC송전선로의 건설비는 그림 2 와 같이 나타난다. 이 그림은 용량의 따른 송전선의 건설비를 나타낸 그림이다.

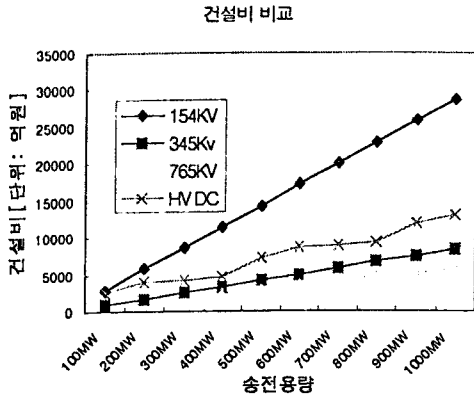


그림 2. 송전용량에 따른 송전선 건설비 비교(100Km)

그림 2 에서 보면, AC송전선로의 건설비는 용량이 큰 송전선을 건설할수록 경제적이 되고, HVDC송전선로 또한 용량이 커질수록 용량에 따른 건설비가 적어진다.

그림 2 의 AC송전선로들과 HVDC송전선로의 건설비를 비교하면, 용량이 커질수록 AC송전선로의 건설비와 HVDC송전선로의 건설비의 차가 커짐을 알 수 있다.

건설비의 차를 용량에 따른 건설비의 증가율과 비교해 보면 그림 3 과 같다. 용량의 증가에 따라 AC송전선로와 HVDC송전선로의 건설비차의 증가율이 조금씩 떨어지는 것을 알 수 있다.

즉, 용량이 큰 HVDC송전선로를 건설할수록 경제적인 면에서 더 큰 이익을 볼 수 있음을 알 수 있다.

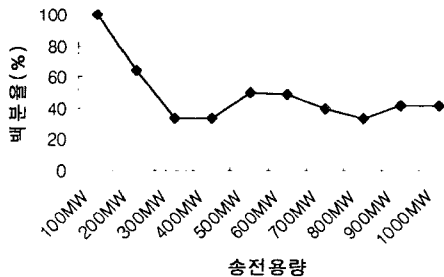


그림 3. 송전용량의 증가에 따른 건설비차 비율(%)

#### 4. 결 론

송전선을 새로 건설할 때 AC송전선로가 HVDC송전선로보다 건설비만을 따졌을 때, 적은 비용이 든다. 하지만, 용량을 크게 설계하면 그 차이가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

건설비만 따졌을 때는 결과적으로 AC송전선로를 건설할 때가 HVDC송전선로보다 경제적이라고 볼 수 있다.

건설비외에 유지보수비, 계통의 안정도나 전선의 전압강하 등의 코스트를 고려한다면 HVDC송전선로가 더 경제적이 될 수 있다. 특히, 장거리 대용량 송전선로에서는 AC송전선로의 전압강하나 계통의 안정도가 약화될 수 있으므로, HVDC송전선로를 사용하는 것이 더 경제적이 될 수 있다.

본 연구를 토대로 추후 계통안정도, 계통 신뢰도 등을 종합적으로 고려한 HVDC 송전선로의 경제성 평가를 시행할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 차준민, "복합계통의 송전설비 보강계획에 관한 연구", 조명, 전기설비학회논문지, pp 45-50, october, 2001
- [2] 한국전력공사 송변전처, "전력계통 운영측면의 제주연계선 추가건설 타당성 검토", pp 2-11 - 2-16, 2003
- [3] HVDC 기술 보고서[1], 전력연구원, 1999
- [4] 김정부 외 한전전력연구원 전력계통연구실, "고전압 직류(HVDC) 송전기술의 동향", The Proceeding of KIEE, vol 53, no. 11, pp 45-52, 2004
- [5] 조성훈, 신진철, 정길조 외, "HVDC 기술동향(I)", 전기학회지, vol. 48, no. 3, pp 39-45, 2000
- [6] 손현일, 신동준외, "해남-제주간 직류송전시스템의 최적송전용량제한", 대한전기학회의 전력계통연구의 춘계학술대회 논문집, pp 50-53, 2004