

6 고전압 직류송전 (High Voltage Direct Current)

글 김선용 \ 기전팀 대리 \ 전화 02-3433-7433 \ E-mail joonow@ssyenc.com

1. 머리말

우리의 삶에 있어서 전기는 흔히 공기와도 같은 존재라고 말한다. 사실 우리를 둘러싸고 있는 주변의 모든 것들이 전기에 의해서 작동되고 있다고 해도 과언이 아니며 이제 전기없는 우리의 삶은 절대적으로 불가능한 시대에 살고 있다.

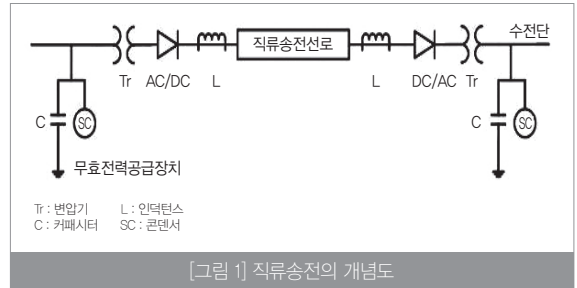
문명이 발달함에 따라 과거부터 현재까지 전력수요는 지속적으로 증대되고 있으며 앞으로도 전기차, 자기부상열차 등과 같은 전기와 관련된 산업들의 발전과 함께 전력수요는 더욱 증가할 것이다. 이에 따라 지금도 각지에서는 발전소 및 송전선로가 계속해서 신설 및 증설되고 있는 상황이며 우리는 향후 시장의 확대 혹은 새로운 시장의 형성에 가능성에 관심을 가져야 하겠다.

이와 관련하여 전기의 송전방식 중 우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 송전방식인 고전압교류송전방식(HVAC, High Voltage Alternating Current)에 대비하여 장거리 송전에 유리한 고전압직류송전방식(HVDC, High Voltage Direct Current)방식을 소개하고자 한다.

2. 고전압 직류송전 공법 소개

2-1. 개요

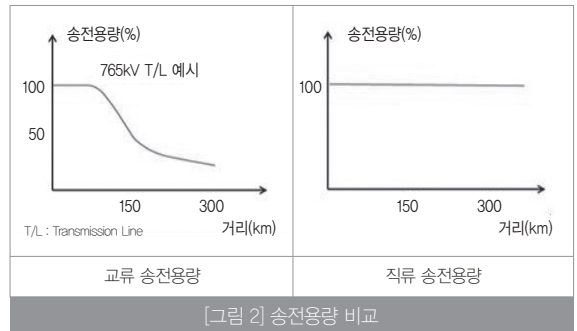
HVDC란 전기송전방식의 하나로서 고전압 직류로 전기를 전송하는 것을 말하는데, 조금 더 정확하게 설명하면 발전소에서 생산된 고압의 교류전력을 변환장치를 통해 직류로 변환하여 송전한 후 다시 교류로 변환하여 공급하는 시스템이다.



[그림 1] 직류송전의 개념도

2-2. 송전용량 비교(교류 vs 직류)

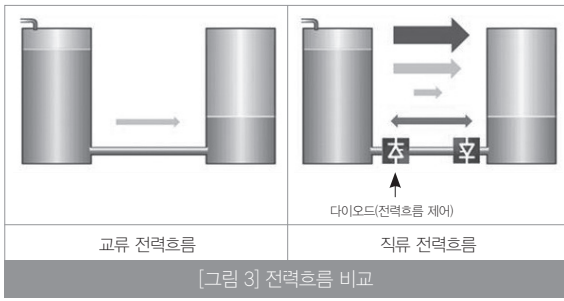
교류는 송전거리가 길어짐에 따라 전력의 흐름을 방해하는 요소(리액턴스)의 증가로 송전용량이 감소하지만, 직류는 송전거리에 따른 송전용량 감소가 발생하지 않는다.



[그림 2] 송전용량 비교

2-3. 전력흐름 비교(교류 vs 직류)

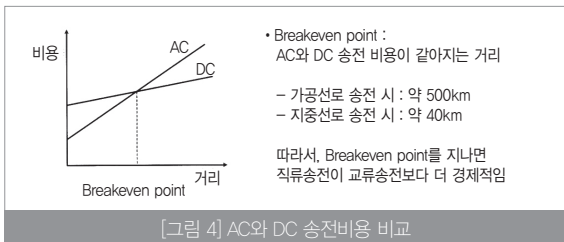
교류는 전력의 고저차에 따라 흘러가지만, 직류는 고저차에 상관없이 전력흐름을 원하는 방향으로 원하는 양을 보낼 수 있다.



3. 고전압 직류송전 공법 장단점

3-1. 장점

- ① 직류송전의 경우 선로전압이 동일 실효치의 교류전압 최대치의 약 70%에 불과하여 기기의 절연이 용이하고 절연설계의 측면에 있어서 현수애자의 크기, 수량 및 전선의 소요량을 그만큼 줄일 수 있고, 첩탑높이를 낮게 할 수 있어 우수한 경제성을 얻을 수 있다.



※ 현재 전력전자 부품의 기술진보에 따라 점차 경제성의 한계가 극복되고 있으나 765kV급 가공 T/L에서는 공장 500km 이상, 지중송전의 경우 40km 이상일 때 경제성이 있는 것으로 평가되고 있음

- ② 교류송전방식에 비하여 코로나 손실이 매우적고 유효전력만으로 송전되므로 교류계통의 충전전류 및 페란티 같은 현상이 일어나지 않고 무효전류에 의한 손실이 없으므로 송전효율이 매우 높다. 특히 케이블의 정전용량에 의한 송전한계를 극복할 수 있다.
※ 페란티 현상 : 수전단 전압이 송전단 전압보다 높아지는 현상
- ③ 교류계통을 직류계통을 통해서 연계하면 무효전력의 전달이 없으므로 교류계통 사고 시 유입전류는 증대하지 않아 단락용량이 경감되어 대응량의 차단기가 불필요하다. 즉 직류변환장치의 고속제어 특성으로 기존계통의 단락용량을 증가시키지 않고 새로운 계통을 연계시킬 수 있다.
- ④ 송전손실은 무효전력에 의한 손실과 유도손실이 없으므로 적다. 코로나손실, 리액턴스 성분에 의한 손실이 없으므로 변환설비에 의한 손실이 전송전력의 약 0.6% 정도로 종합적인 손실은 장거리 송전 시 교류보다 유리하다.

3-2. 단점

- ① 전력의 제어는 변환기의 접호위상을 변환시키므로 전압보다 전류가 늦어 유효전력의 50~60%의 많은 무효전력을 소비하므로 무효전력 보상설비의 설비비가 크며 단락용량이 적은 교류계통에 연계되는 경우는 교류연계점에 전압 불안정현상이 발생한다.
- ② 현재 직류차단기의 실용화가 용이치 않고, 직류 송전계통이 2단자 계통으로 직류전력 계통구성의 자유도가 적어서 중간에 송전선을 분기하기 어렵다. 따라서 직류 교류단자의 송전제어보호방식 및 직류차단기의 신뢰성이 필요하다.
- ③ 직류변환장치가 복잡하고 고가이므로 장거리 송전선이 아닌 소용량 단거리 선로에서는 비경제적이며 변환장치에서 발생하는 고조파를 제거하기 위한 필터가 필요하다.
- ④ 송전전압을 자유롭게 승압, 강압할 수 없으며 고전압 직류계통에서 전류, 전압의 측정이 교류계통의 CT, PT 보다 용이하지 않다.

4. 적용분야

4-1. 해저 케이블 송전

교류 해저케이블 송전 시 충전전류 때문에 무효전력과 케이블 표피전류에 의한 손실로 송전용량이 저하된다. 특히 거리가 멀어짐에 따라 무효전력 자체가 케이블의 정격용량을 초과하게 된다. 이 경우 케이블 양단에서 분로 리액터(Shunt Reactor)에 의해 무효전력을 보상해도 케이블 중간부분의 내부의 선로 정전용량에 의한 과전압을 피할 수 없게 되므로 교류송전보다 직류송전을 적용하는 것이 효율적이다.

4-2. 대용량 장거리 송전

교류 장거리 송전선로의 경우 송전용량은 도체허용전류, 전압강하 및 송전안정도 한계에 의해 결정된다. 즉, 거리가 멀어질수록 송전용량은 줄어드는데 이를 개선하기 위해서 직렬 Capacity에 의해 전달 리액턴스를 줄여 송전용량을 늘일 수 있으나 차동기 공진 현상 등 발전기에 바람직하지 못한 영향을 미치게 된다. 직류의 경우 송전안정도에 영향을 받지 않으며 전압 및 전류에 있어 실효치와 평균치가 같으므로 절연이 저감되어 선로의 단면적이 절약되고, 첩탑과 전선의 규모가 동일 교류전력 송전보다 적어지므로 선로 투자비가 줄어드는 효과를 얻게 된다.

4-3. 도시 밀집지역 직류 송전

도시지역 전력 공급 시 규모가 커짐에 따라 계통의 단락용량이 증가한다. 이에 따라 사고 발생 시 단락전류가 증가하게 되면 차단기

의 차단용량이 부족하게 되고 지락사고 시 지하 매설물을 손상시키며 유도장애가 발생한다. 또한 도시 규모가 커짐에 따라 케이블 경과지 확보가 어려워지므로 이때 기존 케이블 선로를 직류선로로 사용하면 용량을 증대시킬 수 있다.

4-4. 비동기 연계

전력계통의 규모가 커지므로 전력계통을 연결할 필요성이 대두된다. 이 경우 발전설비의 투자비를 절감할 수 있으며 전력생산비를 절감할 수 있다. 양 전력계통을 공유하게되면 전력계통간 전력 유통성을 확보하여 경제적으로 운영이 가능하다. 교류 송전선으로 계통을 연계할 경우 조류제어가 어렵고 연계를 유지하기 위해서는 계통간 동기화가 유지되어야 한다. 특히 양 계통간의 주파수가 다른 경우에는 연계가 불가능하다. 이 경우 직류 송전계통을 적용하면 전력 조류제어가 가능하고, 계통간 동기유지 및 주파수를 일치시킬 필요가 없다.

5. 적용현황

5-1. 스웨덴 본토~고틀랜드섬

(연장 96km, 전압 150kV, 용량 30MW)

1954년 스웨덴 본토와 고틀랜드섬을 연계하는 것에서 처음 고전압 직류송전(HVDC)이 시작되었으며 100kV의 전압의 20MW의 전력을 해저케이블 96km를 통해 공급하는 시스템으로, 당시에는 수은 정류기 밸브를 사용하였다.

5-2. 제주~해남

(연장 101km×2, 전압 180kV, 용량 150MW×2)

1) 추진배경

제주도의 전력계통이 육지와 분리되어 독립적으로 운용되고 있어, 육지에 비해 발전비용은 높고 안정도는 낮은 반면 수요는 급격히 증가함에 따라 제주도 전력공급능력 확보, 적자개선 및 신뢰도 향상을 위하여 건설되었다.

2) 시스템 개요

구분	제주(북제주 화력 구내) ~ 해남(전남 해남군 북평면)	
정격 전압 및 용량	DC ± 180 kV, 150MW × 2	
주요 설비	변환설비	제주 및 해남측 변환설비 각 1식
	해저케이블	101km × 2 circuit (해저 : 96km, 육지 : 5km)
	통신시스템	광통신망 2식

5-3. 제주~진도

(연장 113km×2, 전압 250kV, 용량 200MW×2)

1) 추진배경

2012년 이후 제주지역 전력수급에 어려움이 가중되고 제주지역 전력계통 취약성 보강이 시급하다는 이유에서 2006년부터 본격 추진되었으며 진도군 발전계획과 연계한 송전망 확충과 전력수요 증가에 대비하는 한편 육지의 3배인 제주지역 발전단가를 낮추는데 기여하기 위해 추진되었다.

2) 시스템 개요

구분	제주(해안동) ~ 진도(전남 진도군 임회면)	
정격 전압 및 용량	DC ± 250 kV, 200MW × 2	
주요 설비	변환설비	서제주 및 진도측 변환설비 각 1식
	해저케이블	113km × 2 circuit (해저 : 101km, 육지 : 12km)
	통신시스템	<ul style="list-style-type: none"> 해저케이블 선박감시 레이더시설 3식 (진도, 서제주, 추자도) 변환소 구내통신설비 2식 (진도, 서제주)

5-4. 2022년까지의 HVDC 프로젝트 계획

준공계획	프로젝트
2018년	북당진 ~ 고덕간 HVDC 1단계(1.5GW) 사업
2021년	북당진 ~ 고덕간 HVDC 2단계(1.5GW) 사업
2022년	서남해 해상풍력 3단계(2,000MW) 사업

6. 맺음말

직류송전은 위상이나 주파수에 상관없이 전력연계가 가능하기 때문에 국가간의 전력연계, 우리나라에서는 남북한 계통연계와 같은 곳에 사용되어지고, 전력을 인위적으로 제어할 수 있다는 장점 때문에 신재생 에너지와의 연계나 계통의 조류제어 및 전력제어에 이용될 수 있다. 이에 따라 세계적으로 기존의 전력전송망을 직류로 대체하거나, 신규 전력망을 직류로 건설하는 방안이 활발하게 진행되고 있으며 앞으로 직류송전은 세계 전력망의 핵심기술로 떠오를 수 있다. 따라서 우리는 직류송전에 대하여 지속적인 관심을 가지고 동향을 파악하여 향후 남북한 전력계통 연계와 같은 시장의 확대 시 적극 대응할 수 있도록 해야 할 것으로 사료된다. **SS**

참고문헌

- 1) 카페스(<http://www.kapes.co.kr>)
- 2) HVDC 기술보고서[1], 전력연구원, 1999
- 3) 한국전력신문(<http://www.epnews.co.kr>)