



AC 154kV/DC 80kV 병가 철탁의 친환경 특성 평가



김영홍
한전 전력연구원 송변전연구소 선임연구원

1. 개 황

탄소 자원의 고갈과 자연환경의 파괴 등으로 인해 최근에는 친환경적인 신재생에너지 개발을 위한 다양한 연구 및 기술 개발이 진행되고 있다. 풍력발전, 태양광·태양열 발전, 조력발전 등이 이에 포함된다. 그러나 자연환경 조건에 따라 발전량이 변하기 때문

에 기존 전력계통 연결 시 전력품질의 저하를 유발할 수 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법으로 초고압직류송전 기술이 대두되고 있다.

기술발전과 전력 반도체의 가격하락으로 인해 상용화되기 시작한 초고압 직류 송전기술(High Voltage Direct Current; HVDC)은 현재 전력계통에서 사용되고 있는 교류가 전압 전류의 위상이 1초에 60

변의 진동횟수(주파수 60Hz)로 변하는 것과 달리 전압, 전류를 일정하게 유지하여 전기에너지를 보내는 기술이다. 전압과 전류의 위상변화가 없기 때문에 초고압 교류 송전기술(High Voltage Alternating Current; HVAC)에 비해 장거리 송전의 효율이 높고, 교류계통 적용 시 고장 전류를 저감시켜주는 역할을 하며, 발전량이 일정하지 않은 신재생에너지 등을 기존 계통에 연계 시 전력품질 저하를 줄여주는 등 교류송전보다 많은 장점을 가지고 있다.

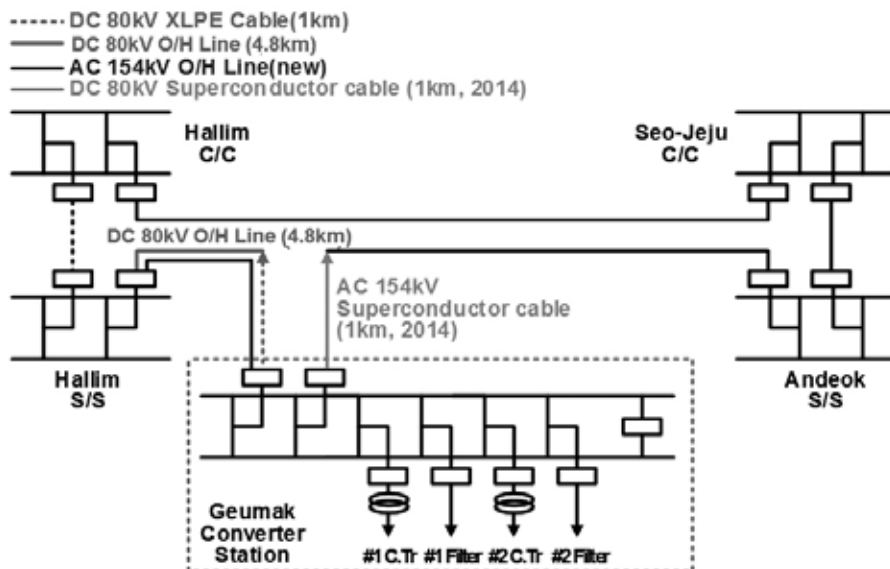
그러나 새로운 초고압 직류 송전선로를 건설하기 위한 선로부지 확보는 환경 문제로 인한 민원 때문에 전 세계적으로 매우 어려운 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 운영 중인 초고압 교류 송전선로의 용지 범위 안에 새로운 초고압 직류 송전선로를 건설하거나 직류 송전선로로 변환하는 방법이 사용되고 있다. 이 중에서 교류 및 직류 선로를 동일한 철탑에 설치하는 것을 하이브리드(Hybrid) 선로라고 한다. 하이브리드 선로의 운전은 교류 및 직류의 송전도체 간에 상호작용을 유발시켜 송전선로에 인가되는 전압으로 인해 지표면에 형성되는 교류 및 직류 전계강

도, 직류 송전도체에서 발생하는 이온의 흐름으로 형성되는 지표면에서의 이온전류 밀도, 송전도체에서 코로나가 발생하기 시작하는 임계전압(코로나 임계 전압) 등에 영향을 미친다. 이러한 전기 환경적 요소들은 인체에 대한 전기적인 충격(Shock), 생물학적 영향 등과 관련이 있기 때문에 인체 안전 및 건강측면에서 중요한 송전선로 설계요소가 될 수 있다.

2. 현황

직류 송전기술의 실선로 적용을 통해 고장전류 저감, 전력품질의 저하가 없는 신재생에너지 활용 등 여러가지 이득을 볼 수 있으나 국내의 경우 신규 송전선로를 위한 경과지 확보가 상당히 어려운 실정이다. 그러나 일본과 중국, 러시아 등 인접 국가의 전력 기술 개발 및 에너지 정책 동향으로 인해 초고압 직류 송전기술 확보의 중요성이 커지고 있다.

일본의 경우 후쿠시마 원전사고로 인해 원전의 수를 줄이고, 신재생에너지와 국가 간 계통연계를 통해



[그림 1] 제주 HVDC 시범선로 구성도

부족한 전기에너지를 공급하기 위해 노력 중이다. 중국의 경우 전력수요가 해안가의 대도시에서 밀집되어 있는 반면, 발전단이 내륙에 위치해 있어 효율적인 전력송전을 위한 직류송전선로를 구축하고 있으며, 일부 선로의 경우 러시아 전력계통과 연결되어 있다. 러시아는 최근 생산성이 증대된 셰일가스로 인해 가스자원의 수출량이 감소하고 있어 새로운 돌파구를 찾고 있으며, 이의 일환으로 가스를 이용한 화력발전 설비를 구축하고 인접 국가에 전기에너지를 팔기 위해 노력 중이다. 특히, 상이한 전력 주파수를 사용하고 있는 여러 국가에 장거리 송전을 하기 위해서는 초고압 직류 송전 방식이 가장 적합한 것으로 검토되고 있다.

기술적 필요성이 증대되고 있는 초고압 송전기술의 개발을 위해 한전 전력연구원에서는 제주에 가공, 지중 및 변환설비로 구성된 HVDC 시범선로를 구축하였다. 가공 송전선로 구축을 위한 경과지 확보가 어려운 국내 사정을 감안하여 한림-금악 구간의 시설 AC 154kV 송전선로를 활용하여 AC 154kV/DC 80kV 하이브리드 송전선로를 구축하였으며, 기술·

설비의 국산화 및 기준 수립을 위한 다양한 실증시험 수행하였다.

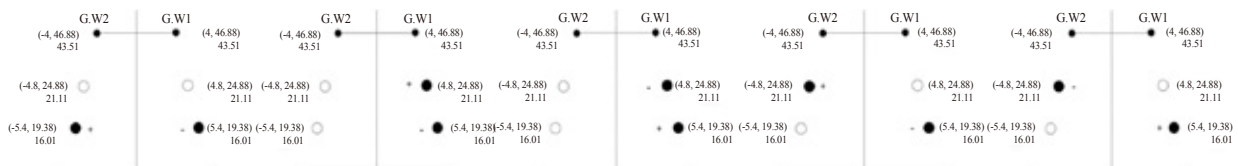
3. 송전선로 구축

가공 송전선로의 구축을 위해서는 전기환경 설계 기준에 맞는 송전도체의 크기, 배치 및 지상고 등을 결정해야 한다. 그러나 직류 송전선로와 하이브리드 송전선로에 대한 정확한 기준은 국내뿐만 아니라 해외에도 존재하지 않고 있다. 제주 HVDC 시범선로의 AC 154kV/DC 80kV 병가철탑 설계 시에는 친환경성을 확보하기 위해 가장 전기환경 장애량이 낮은 극배치를 적용하였다. 현재까지 하이브리드 송전선로의 전기환경을 계산할 수 있는 프로그램이 없어 아래와 같은 AC, DC의 송전선로 조건을 이용하여 각각의 전기환경 계산을 수행하였다.

DC 선로의 경우 그림 2와 같이 5가지의 극배치 모델에 대해 전기환경 장애량을 계산하여, 최하단에 정

[표 1] AC/DC 각 송전선로 구성

구분	AC 선로	DC 선로
전압	154kV(공칭), 170kV(최대)	80kV/1-Bipole
송전도체	ACSR/AW 330SQ×1B(Φ=25.3mm)	ACCC/TW 160SQ×1B(Φ=15.65mm)
가공지선	ACSR/AW 97SQ×1B(Φ=16mm)	ACSR/AW 97SQ×1B(Φ=16mm)
이도	10.12m	10.12m
매자련 길이	1.46m(=120kN 내무매자 10Ea×146mm)	1.87m(=160kN 내무매자 11Ea×170mm)
최대허용전류	830A	375A



[그림 2] 극배치 모델의 전기환경 장애량

[표 2] 전기환경 설계기준 및 계산결과

전기환경 장애요소		설계기준	계산결과
AC	Electric Field	3.5kV/m 이하	0.08kV/m
	Magnetic Field	833mG 이하	4.82mG
	Audible Noise	45dBA 이하(준주거지역)	24.6dBA
	Radio Interference	SNR 24dB 이상	SNR 44.1dB
	Television Interference	SNR 40dB 이상	SNR 58.7dB
DC	Electric Field	25kVdc/m 이하	0.355kVdc/m
	Magnetic Field	4000G 이하	19.18mG
	Audible Noise	50 dBA 이하(주거지역)	25.1dBA
	Radio Interference	SNR 24dB 이상	SNR 44.2dB
	Ion Current Density	100nA/m ² 이하	0.474nA/m ²

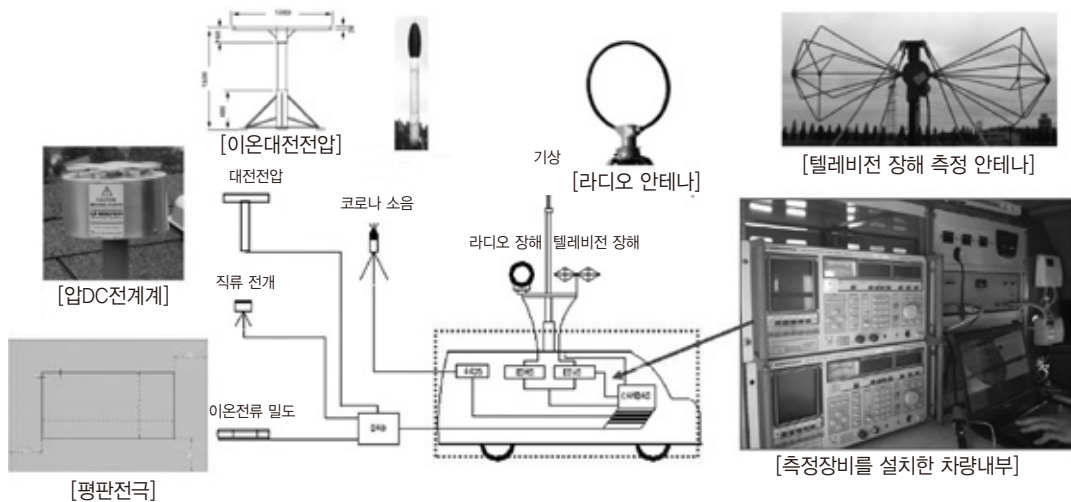
극성과 부극성을 수평으로 배치하는 Case 1을 선정하였다.

전기환경 장애량에 대한 각각의 계산 결과는 표 2와 같으며, 각각의 기준에 만족하는 결과가 도출되었다. 그 과정에서 DC 송전선로의 공인된 전기환경 설계기준이 없어, 전력 연구원에서 수행한 '초고압 직류 송전선로 실계통 적용 기술개발' 과제의 실증시험결과로 제시된 설계기준(안)을 준용하여 판단하였다.

4. 전기환경 측정시스템

한림변환소와 금악변환소 사이에 구축된 가공 송전선로는 상단에 AC 154kV 2회선, 하단에 DC 80kV 쌍극선로가 설치되어 있는 병가철탁으로 구성되어 있으며, 4.8km 길이의 송전선로의 전기환경 특성을 평가하기 위해 별도의 측정시스템을 구성하였다.

객관적 데이터 측정을 위해 다양한 측정위치에서 전기환경 특성을 측정할 수 있도록 차량을 이용하여



[그림 3] 병가철탁의 전기환경 측정시스템 구성

시스템을 구축하였으며, 라디오, 텔레비전과 같은 방송신호의 장애와 소음, 직류 전계, 대전전압, 이온 전류밀도 등을 측정하기 위한 측정 장치를 내장하였다. 또한 풍속, 풍향, 강수량 등 측정 시의 기상조건을 기록하기 위한 센서를 설치하였다. 측정된 데이터는 내장된 DAS 프로그램을 이용하여 실시간으로 분석, DB화하였다.

5. 친환경성 평가

AC 154kV/DC 80kV 병가철탑의 전기환경 특성을 평가하기 위하여 2013년 4월부터 8월까지 약 4회

에 걸쳐 전기환경 장애량을 측정하였다. 측정지점은 측정차량이 진입할 수 있고, 장기간 측정이 가능한 지역에 해당하는 철탑 #2~#3 경간과 #12~#13 경간 사이의 두 지점으로 선정하였으며 측정지점의 지형 및 접근성 등으로 인해 선로에서 수평으로 3m, 15m 이격하여 측정하였다.

또한 선로의 친환경성을 평가하기 위한 배경잡음으로 AC 선로만 운전되는 경우의 전기환경 장애량을 측정하였으며, DC 선로의 최대 부하 조건에 해당하는 1-Bipole 60MW 운전 시 전기환경 장애량을 측정하여 하이브리드 송전선로의 전기환경 특성을 평가하였다.



(a) 측정위치 #2~#3



(b) 측정위치 #12~#13



[그림 4] 병가철탑의 전기환경 장애 측정

[표 3] 전기환경 장애량 측정 결과

측정항목	AC 선로만 운전 (배경잡음)		AC 및 DC 선로운전 (쌍극운전)		DC 설계기준(안)
	#2~#3	#12~#13	#2~#3	#12~#13	
RI, dB[uV/m]	45.94	38.85	47.07	46.55	47 이하
AN, dBA	49.1	44.2	35.5	53.8	55 이하
이온 전류밀도, nA/m ²	1.06	1.03	1.05	0.85	100 이하
DC 전계, kV/m	-0.6	0.41	4.6	0.27	25 이하
대전전압, kV	0.056	0.063	0.47	0.49	-
AC 자계, mG	1.55	1.05	3.05	1.05	833 이하

측정결과 AC 선로만 운전하였을 때보다 하이브리드의 전기환경 장애량이 약간 상승하였으나, DC 설계기준(안)에 만족됨으로써 병가 철탁의 친환경성을 입증하였다.

6. 향후 계획

제주 HVDC 시범선로에 구축된 AC/DC 하이브리드 송전선로를 이용하여 수행된 친환경성 평가는 경과지 확보가 어려운 국내환경에 적합한 AC/DC 선

로의 병가 또는 DC 선로로의 변환을 통해 친환경적인 선로 구축이 가능함을 보여 주었다. 비교적 짧은 기간 동안 측정된 데이터임을 고려하면, 향후에는 보다 장기적인 데이터 확보와 다양한 전압등급에 대한 친환경성 평가를 통해 보다 신뢰성 높은 설계 방법과 기준을 제시하기 위한 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

또한 주변국들의 기술개발 동향 등을 고려하여, 국가 간 계통연계를 위한 초초고압 직류송전기술(Ultra High Voltage Direct Current) 개발을 적극 수행해야 할 것이다. 