

±500kV 가공직류 시험선로 구축 및 전기환경 실증연구

이원교, 신구용, 임재섭, 이동일, 황갑철, 최진성*
한전 전력연구원, 한국전력공사*

Study on the Installation of Full Scale ±500kV HVDC Test Line

Won Kyo Lee, Koo Yong Shin, Jae Seop Lim, Dong Il Lee, Kab Cheol Hwang, Jin Sung Choi*
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute), KEPCO(Korea Electric Power Corporation)*

Abstract - 본 논문은 폭넓은 전기환경 실증연구가 가능한 실규모 HVDC 시험선로의 설계 및 구축에 대해 소개한다. 국내 실정에 적합한 초고압 가공 직류송전(HVDC)선로 설계를 위해서는 전기적인 환경 장애를 일으키지 않는 환경친화적인 설계 및 건설에 대한 대안이 마련되어야 한다. HVDC 선로의 전기적인 환경영향은 주로 (+)극과 (-)극에서 발생하는 이온의 흐름에 의한 이온전류 밀도, 대전전압, 지표면전계강도 등 이온류(Ion流)의 영향과 초고압 송전에 따른 코로나 영향에 대해 검토하는 것이다. HVDC 실규모 시험선로는 요크, 특수 애자런, 특수 arm 을 사용하여 첩탑의 극간 배치, 도체 배치 변경 및 지상고 변경이 가능하도록 winch를 채용하여 절연설계 조건의 유동성, 환경, 지지물, 송전 기자재, 경제성 및 운용의 효율성을 종합적으로 고려할 수 있도록 특수한 형태로 설계하여 각종 전기환경 실증연구가 가능하며 국내 환경 특성에 적합한 최적 극배치 좌표 도출이 가능하도록 구축되었다. 본 논문은 상용 가공 HVDC 송전방식의 적용에 앞서 현재의 상황을 고려한 전기환경 실증 연구가 가능한 실규모 HVDC 시험선로의 설계 및 구축에 대하여 기술하였다.

1. 서 론

초고압 직류송전은 국내 교류 계통 최대의 난문제인 단락 용량 증대에 대처하고 궁극적으로는 송전용량을 증대하기 위한 여러 방안 중 교류계통 일부 구간에서 직류 변환 송전의 필요성이 계속적으로 제기되고 있으며, 계통 안정화 및 안정적 전력수급에 기여하는 효과까지 있으므로 국내 실정에 적합한 초고압 가공 직류 송전(HVDC)선로 설계를 위한 가공 직류 시험선로 구축 및 전기환경 실증연구는 반드시 필요하다[1].

HVDC 선로 설계 시에 최우선적으로 연구개발 되어야 하는 분야는 환경 설계분야로서 송전용량, 경제성이 동시에 고려된 송전 도체 방식 결정, 전선 최저 지상고 및 지지물 설계자료 도출, 환경설계 목표치 설정, 특정 목적의 지소음 저감용 전선의 개발, 전계 해석기법 개발, 환경영향 평가 분석 예측 기법 등에 관한 개발이 요구되고 있는 실정이며, 국내에 도입되는 직류계통의 전기설비기술기준, 각종 환경 법률 등에 대한 기술적, 법률적 적합성에 관한 검증 작업이 필요하다.

HVDC 실규모 시험선로는 우리 실정에 가장 적합한 시험용 첩탑형상을 결정하기 위하여 세계 각국이 채용하고 있는 대표적인 직류 시험선로 및 상용송전선로의 첩탑을 비교 조사하여 지지물의 기능과 형상결정의 자료로 활용하여 도체방식의 구성을 변경 가능한 형태로 첩탑을 설계하고 기능적인 판단요소로 절연설계 조건의 유동성, 환경, 지지물, 송전 기자재, 경제성 및 운용의 효율성 등을 종합하여 요크, 특수 애자런, 특수 arm 또는 첩탑의 극간 배치 및 지상고 변경이 가능하도록 winch를 채용하였다. 기존에 한전에서 보유하고 있는 교류 800kV급 선로 설계와 건설 경험을 바탕으로 환경에 영향을 미치는 물리적인 메카니즘을 규명하고, 설계목표 지침 설정하여 실증 시험 연구를 수행하여 취득한 결과는 상용 가공 HVDC선로 설계의 기본 자료로 활용할 것이다.

2. 본 론

2.1 시험 선로 설계

현재 국외사례와 송전용량을 고려할 때 국내 가공 HVDC구성은 직류 송전 전압은 ±500kV, 용량은 3GW가 적절할 것으로 예상된다. 직류 송전전압을 ±500kV로 상정할 경우 1-bipole 시스템이면 한 선로 당 전류 용량은 3~4kA, 2-bipole 시스템이면 1회선 당 전류용량은 1.5~2kA로 설계할 수 있다[2]. 송전용량 3GW, 2-bipole인 경우 810mm2×2B 방식이면 전류용량을 만족하지만, (N-1) 기준의 상정고장을 고려해서 한 쪽 bipole 혹은 한 개의 monopole 고장 시 타 회선의 용량을 다른 회선이 모든 회선 용량을 공급할 수 있도록 전선의 굵기와 복도체 수에 있어서 적절한 여유도를 고려하여 선정해야 할 것이다. 후보 도체방식 중에서 코로나 케이지 특설 실험을 통해 전기환경 측면에서 가장 우수한 도체

방식을 선정하면 480mm2×6B, 810mm2×4B와 810mm2×4B 방식이 우리의 실정에 가장 적합한 송전도체방식으로 선정 할 수 있다[2].

구축된 시험선로는 기존 교류 765kV 송전선로 기술을 활용하여 동일한 구성인 480mm2×6B 도체방식을 선정하였고, 추후 810mm2×6B까지 교체하여 시험 할 수 있도록 설계 되었다. 또한 500kV의 +20%인 최대 DC 600kV까지 시험이 가능한 Bi-pole(Positive, Negative)선로로 설계되었고, 극간거리(14m~28m) 및 지상고(13~12m)를 가변 할 수 있도록 구축하였다.

2.2 절연 이격거리

송전용 지지물의 설계조건으로 전기적 특성을 고려해서 살펴보면 공기 절연거리를 산출하는데 필요한 50% Flashover 전압과 Switching Surge 에 의한 공기 절연거리 산출 및 Lightning Surge에 의한 공기 절연거리 산출은 765kV 규정을 적용하여 산출이 가능하다[3][4].

<표 1> 절연 이격거리 산출

항 목	상용주파 과전압	Switching Surge		Lightning Surge
		상-대지	상-상	
V _{dc} [kV]	500	500	500	500
K ₁	1.0	1.0	1.0	1.0
K ₂	1.099	1.099	1.099	1.099
k	1.25	1.24	1.66	1.25
n	1.2	1.7	1.7	1.7
V ₅₀	824	1168	1806	1168
d [m]	1.8	4.3	9.4	2.9

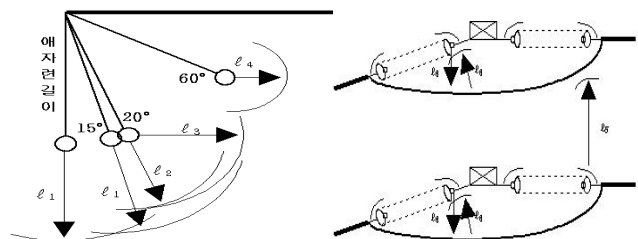
K₁:기상 보정 계수, K₂:내압 계수, n:내부 과전압 배수

정상상태 인가전압과 뇌임펄스, 개폐임펄스 등 발생이 가능한 과전압, 즉 요구되는 절연강도에 대하여 해당 송전선로가 충분한 절연내력을 가질 수 있도록 설계하였으며, 공기절연 이격거리 계산 결과는 표 1과 같으며, 시험선로의 절연 이격거리 적용치는 표2와 같다.

그림 1은 각각 절연 이격 거리 설계도(Clearance Diagram)이다.

<표 2> 시험선로 절연 이격거리 적용치

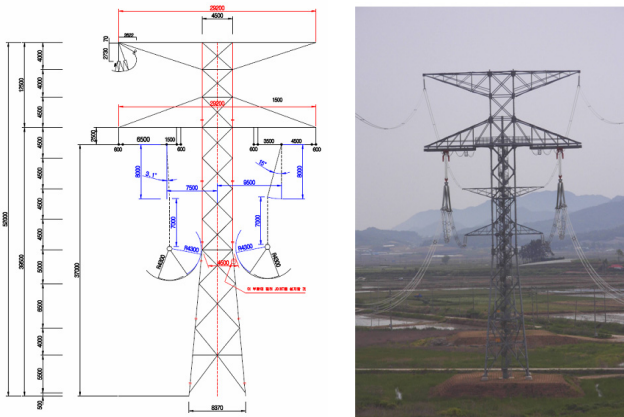
Item	Explanation	
Voltage	500 kV	Maximum Operating Voltage
ℓ ₁	4.3 m	Switching Surge (1.7 pu)
ℓ ₂ , ℓ ₃ , ℓ ₆	2.9 m	Lightning Surge (1.7 pu)
ℓ ₄	1.8 m	DC (1.2 pu)
ℓ ₅	9.4 m	Switching Surge (1.7 pu)



<그림 1> 절연 이격 거리 설계도

2.3 가변형 철타 설계

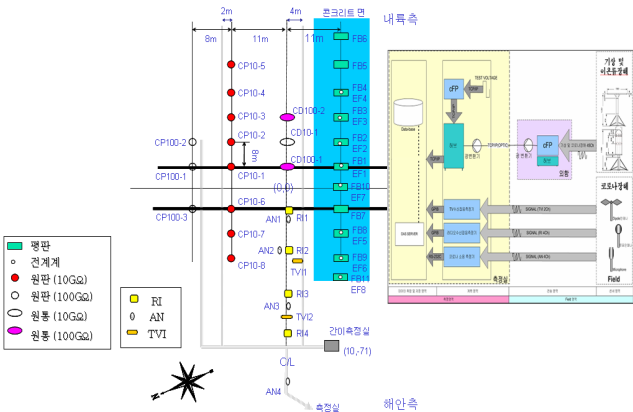
HVDC 실규모 시험선로는 다양한 절연 및 전기환경 시험을 수행할 수 있도록 지상고와 극 간격의 이동이 가능한 가변형 구조를 채택한 2호, 3호 철타 2기와 Dead-End 형태의 내장형 철타인 1호와 4호 철타 2기, 총 4기의 철타로 구성되어 있다. 이중 2호와 3호 철타는 특수 arm에 호이스트를 부착한 형태로 시험선로의 가변 구간을 확보하기 위한 Hoist는 이동시 최대풍속을 10~12m/sec로 상정하고 Hoist 중량은 적용하지 않고 설계하여 하절기에 고정시 하중이 약 16.4ton으로 설계하였다. 일반적인 Hoist의 Hook를 채용하여 활용성을 높이지만 가변형 철타 구조물의 특성상 애자장치와 접속을 안정적으로 유지하기 위하여 애자장치에 적용할 Tower Fitting을 설계하였다. 또한 Hoist에 상시하중 이외에도 다양한 환경적 요인에도 내구성을 갖추기 위하여 내부에 유압식 특수 고정장치를 추가 적용하였다. 또한 가변형 구조물의 안정적인 사용과 애자련의 행진에 따른 절연특성을 고려하여 고장지역의 풍속이 초속 20m 이상 부는 경우에는 가변형 장치의 이동을 중단하고 설계조건인 극배치의 기본조건인 지상고 18m, 극간 거리 22m의 상태를 유지하도록 정하였다[8]. 그림 2는 2호와 3호 철타의 설계도면 및 구축된 설비이다.



〈그림 2〉 가변형 철타 설계도면 및 구축된 설비 (2호,3호)

2.4 전기환경 측정 시스템

HVDC 시험선로의 전기환경 실증연구를 위해 전기환경 측정 시스템은 선로환경영향을 종합적으로 조사, 분석할 수 있도록 설계하였다. 각종 측정센서는 국제규격의 추천지점, 해외 시험선로에서의 표준적 위치 및 코로나 케이지에서의 경험을 기본으로 하여 배치설계 하였다. 따라서 측정센서들은 시험선로 중앙경간 부근에 다수 설치하였으며, 측정항목별로 30초 또는 1분마다 데이터를 저장할 예정이다. 직류선로의 경우 일반적으로 선로의 직각방향(lateral direction)으로 최저지상고의 1.5배정도까지 이온류가 측정되며, 바람이 심한 경우는 2배까지도 측정될 수 있다.



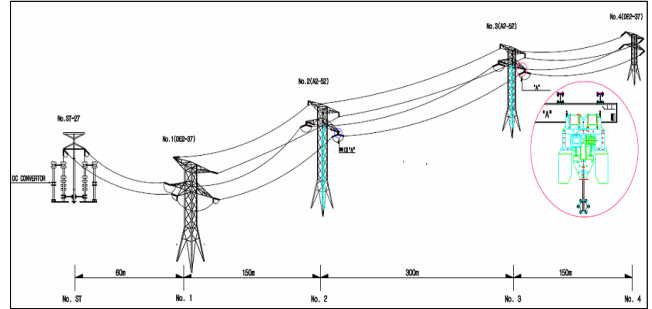
〈그림 3〉 전기환경 측정 시스템 배치도

따라서 지상고가 18m인 경우 선로로부터 30m 이격된 센서는 바람이 심하지 않을 때는 측정값이 매우 작거나 배경잡음(BGN) 측정용이 될 수 있다는 점을 고려해야한다. 또한 각 이온류 센서간의 간섭을 피하기 위해 센서간의 거리는 약 8m로 설계하였으며, 경간의 중심에는 루프(loop) 안테나를 위주로 배치하였다. 한편 라디오 잡음, 텔레비전 잡음, 코로나 소음 측정 케이블이 이온류 센서의 신호케이블 보다 매우 고가이기 때문에 각 측정 케이블의 길이가 가능한 최소로 소요 되도록 센서들을 배치하였다. 그림 3은 각 데이터의 채널 수에 대한 전기환경 측정

시스템의 배치도를 나타낸다. 센서에 입력된 신호는 Trough에 포설된 각종 케이블을 통하여 측정동의 DAS에 집록되며, database server에 의해 저장 및 관리된다.

2.5 구축된 실규모 HVDC 시험 선로

철타의 절연설계는 크게 철타설계와 부속장치 설계로 구분할 수 있다. 부속장치 설계는 애자련의 섬락특성과 상-대지 및 상간 이격거리 설계를 들 수 있으며, 여기에 전자기와 환경설계를 통한 최저 지상고 결정과 기계적 강도설계가 포함되어 최종적으로 전체적인 철타설계가 이루어진다. 국내 환경에 적합한 상용 가공 HVDC선로 설계를 위해 도체 및 절연 이격거리 선정과 가변형 철타 설계기술을 적용해서 구축된 시험선로 배치도는 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 가공 HVDC 시험선로 배치도

가변형 철타를 제어하기 위한 제어실과 전기환경 측정 시스템은 가변형 철타 2호와 3호 사이에 위치해 있고, 실제 구축된 설비는 그림 5와 같다.



〈그림 5〉 구축된 제어실 및 전기환경 측정 시스템

3. 결 론

실증적 연구개발을 통해 향후 가공 HVDC 송전선로의 전기환경대응 수립, 송전 기자재 시제품 국산화 개발 및 선로 건설공법과 유지 보수 기술 정립 등을 이루기 위해서 구축된 HVDC 실규모 시험선로는 초고압 직류송전시 발생하는 이온의 흐름에 의한 이온전류 밀도, 대전 전압, 지표면 전계강도 등 이온류(Ion流)에 의한 전기환경장애 및 코로나 영향을 검토하여 환경친화적 HVDC 송전선로 설계기준 도출이 가능하다.

HVDC 실증 시험선로는 가변형 철타를 채용하여 송전선로의 극배치 및 지상고 변경을 통해 각종 환경특성 시험을 수행하여 국내의 환경에 적합한 최적 극배치 좌표를 도출할 예정이다. 이러한 형태로 구성된 실증 시험선로는 향후 현장에서의 선로 건설, 보수 및 운용기술 등의 개발에도 활용 가능하며, 현재 전기환경특성 평가를 위한 자동화 계측시스템과 DAS 및 DB분석 프로그램을 이용하여 2009년 3월까지 실증시험을 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, “초고압 직류가공선로 설계기술 및 핵심요소 기술개발(1단계 종합보고서)”, 2005.07
- [2] 주문노, 길경석, 양광호, 이성두, 황기현, “HVDC +500kV 가공 송전선로의 최적 도체방식 선정을 위한 전기환경특성 평가”, 대한전기학회 논문지, 55C-11. pp.520~526, 2006.11
- [3] 전력연구원, 765kV 계통 절연협조 연구, 1995
- [4] 한국전력공사 설계기준-1111, 가공송전용 철타 설계기준, 1997