

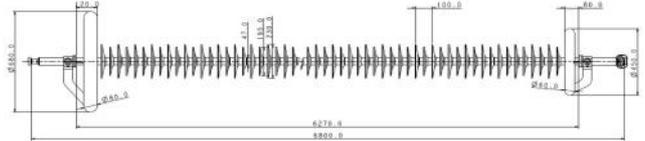
## HVDC 500kV 폴리머애자 개발

조호령\*, 박재원\*, 이상식\*, 이철호\*, 임운석\*\*  
(주)평일\*, 한국전력공사 전력연구원\*\*

### Development of Polymer Insulator for HVDC 500kV

Ho-Ryung Cho\*, Jae-Won Park\*, Sang-Sik Lee\*, Chul-Ho Lee\*, Yun-Seog Lim\*\*  
PYUNGIL Co., Ltd\*, KEPSCO RESEARCH INSTITUTE\*\*

**Abstract** - 차세대 친환경 송전기술로 세계적으로 주목되고 있는 HVDC는 유전체 손실이 없으며 안정도가 좋아 송전용량이 크고 송전효율이 높으며 선로의 절연계급이 낮으므로 경제적이고, 주파수가 다른 계통과 비동기 연계가 가능하여 고효율 녹색기술로 크게 각광받고 있다. 본 논문에서는 HVDC 송전선로의 핵심 절연물인 가공절연디바이스에 대한 직류 절연 설계 및 평가기술을 연구개발하고, 이를 바탕으로 핵심 절연물인 HVDC 500kV 급 폴리머애자를 개발한 시제품에 대한 공인시험기관의 개발시험을 통하여 성능평가를 완료한 다음, HVDC 500kV가 실제로 가압되는 실증선로에서 1년간의 실증시험을 수행하고, 실증을 완료한 시료에 대하여 성능확인을 통한 신뢰성 확보를 목표로 개발을 진행하여 성공적인 결과를 거둔 내용에 대하여 설명하고자 한다.



〈그림 1〉 HVDC 500kV 폴리머애자 도면



〈그림 2〉 HVDC 500kV 폴리머애자 시제품

## 1. 서 론

최근 HVDC 송전 사용이 증가하면서 발수성과 내오손성이 뛰어난 폴리머 애자가 기존의 자기애자를 대체하여 사용되고 있으며 폴리머애자가 HVDC 500kV 선로에 적용되어 특성이 우수한 것으로 평가되고 있다. HVDC 환경에서는 애자 절연재료 내부의 불순물이 이온 전도 현상을 일으켜 문제가 되어 몇 개 업체들의 자기애자와 유리애자에서 실제로 이러한 문제가 확인되어 폴리머애자가 선호되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 정부지원개발과제로 개발된 HVDC 500kV 폴리머애자를 규격(안)에 따라 개발인정시험을 시행한 다음에 HVDC 500kV가 실제로 가압되는 실증선로에서 1년간의 실증시험을 수행하고, 실증을 완료한 시료에 대하여 성능확인을 통하여 신뢰성평가를 수행하여 개발을 완료한 내용에 대하여 기술하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 HVDC 500kV 폴리머애자 시제품 사양에 따른 시제품 제작

HVDC 500kV 폴리머애자의 표준사양(안)은 기존 자기계 DC애자의 표준규격(KS C IEC 61325), 중국의 “HVDC 500kV 폴리머애자규격(DT/L 810-2002)”, 한전의 송전선로용 폴리머현수애자규격(ES-5970-0014), IEC 폴리머애자 시험규격들을 기준으로 수요처 및 학계, 연구소 등 전문가 회의를 통한 의견수렴 결과를 반영하여 제정하였고 기본사양은 다음의 <표 1>과 같다. 시제품 도면은 <그림 1>과 같고 제품형상은 <그림 2> 사진과 같이 제작하였다.

〈표 1〉 HVDC 500kV 폴리머애자 성능기준

항 목		특 성 치	
		DC 500 kV	
기계적 특성	규정인장하중(SML), kN	400	
	인장내하중(RTL), kN	200	
	비틀림 내하중 (N·m)	180	
	연결길이 (mm)	6 800	
	최소 누설거리 (mm)	26 000	
	최소 건조점막거리 (mm)	6 300	
전기적 특성	직류 주수내전압 (kV)	정/부극성	600
	뇌충격 건조내전압 (kV) (1.2 / 50 μs)	정/부극성	2 700
	개폐충격 건조내전압(kV) (250 / 2 500 μs)	정/부극성	1 550
	가시코로나 (kV)	정/부극성	DC 525

### 2.2 HVDC 500kV 폴리머애자 개발시험

HVDC 500kV 폴리머애자 시제품을 표준사양(안)에 따라 2013년 상반기에 한국전기연구원과 중국의 XIHARI에서 시험한 결과, 다음<표 2>와 같이 모두 만족하는 결과를 얻었다.

〈표 2〉 HVDC 500kV 폴리머애자 성능시험 결과

NO	시험항목	시험기준	시험결과
1	외관검사	흠, 균열, 부풀음 등 결함이 없을 것	이상 없음
2	구조검사	도면공차 기준이내이어야 함	이상 없음
3	금구의 집합 및 계면평가 시험	표면에 크랙 및 열화, 외부섭락, 절연파괴 없을 것	이상 없음
4	접속섬재의 하중-시간 특성시험	인장파괴하중 평균값의 60% 하중 96h 동안 인가 후 이상이 없을 것	이상 없음
5	경도시험	42h 끓인 후 경도변화 20%이내일 것	이상 없음
6	내후성시험	형광자외선 1 000h 후 이상 없을 것	이상 없음
7	내트래킹시험 (Salt fog)	시험전압 35mm/kV, 1 000h 연속시험 후 이상이 없을 것	이상 없음
8	난연성시험	기준 이내 이어야 함	이상 없음
9	비틀림 내하중시험	180N·m 이상	이상 없음
10	염색용액침투시험	15분 이내, 염색용액 침투 없을 것	이상 없음
11	수분확산시험	DC ±12kV/1분 내전압 - 관통파괴, 표면섭락이 없어야 함	이상 없음
12	직류주수내전압시험	600kV/1분	이상 없음
13	뇌충격 건조내전압시험	2 700kV / 정, 부 15회	이상 없음
14	개폐충격 건조내전압시험	1 550kV / 정, 부 15회	이상 없음
15	규정인장하중 및 기밀성시험	400kN의 70% 하중에서 96h 후 금구 계면 기밀성 평가	이상 없음
16	인장파괴하중시험	400kN이상 일 것	이상 없음
17	가시코로나시험	DC 525kV에서 가시코로나 없어야 함	이상 없음
18	X선 투과시험	기포 및 이물질이 없어야 함	이상 없음
19	접착력시험	Sheath와 FRP 접착 평가 양호할 것	이상 없음
20	도금시험	부착량 500g/m <sup>2</sup>	이상 없음
21	스프리트핀시험	육안, 치수검사결과 이상 없을 것	이상 없음
22	내트래킹시험	DC +4.5kV 6h 인가, 이상 없을 것	이상 없음

### 2.3 실증시험을 통한 신뢰성 평가

국내 최초로 개발된 HVDC 500kV 송전용 폴리머애자의 장기 신뢰성을 검증하고, 내구성을 확인하는 시험, 평가 및 열화 진단 기술 확보를 위하여 다음과 같이 DC 500kV가 상시 가압되는 실 선로 실증시험을 한국공사 전력연구원에 위탁하여 고창 전력시험센터에서 수행하였다.

### 2.3.1 실증시험 추진일정

다음 <그림 3> 실증시험 추진일정에서와 같이 1년간 실증시험을 진행하는 동안 매월 UV측정, ESDD와 NSDD측정, DDG측정, IR측정을 하도록 하였다.

수행내용	일정(년차)	2013년(2013. 6. 17-12.31)						2014년(2014. 1.1-6.16)						
		6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
최초검사	유연검사													
	소수성검사													
가압 및 시험	작수회의													
	500kV 가압(상시)													
	UV측정(1회/1개월)													
	ESDD/NSDD(매월)													
	DDG 측정(매월)													
	IR측정(1회/1개월)													
최종 보고서 제출														

<그림 3> 실증시험 추진일정

### 2.3.2 실증시험용 애자설치

실증시험을 위한 시료설치는 다음의 <표 3>과 <그림 4>에서와 같이 인출철주 내장애자를 폴리머애자 2련으로 설치하고, 현수애자는 점퍼선 현수애자를 폴리머애자로 교체 설치하는 것으로 하였다.

<표 3> 실증시험용 애자설치 방안

구 분	규격	수량	비고
내장애자	400kN	4ea	DC 500kV ±축 각 2련 설치
현수애자	400kN	3ea	DC 500kV - 축 현수Type 설치

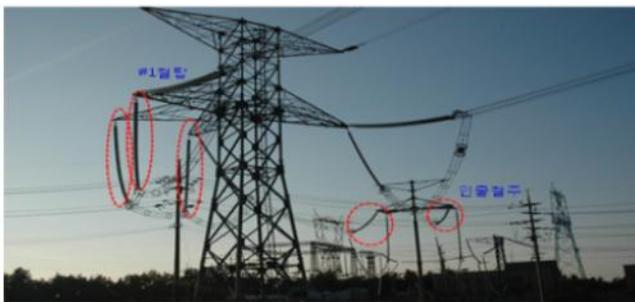
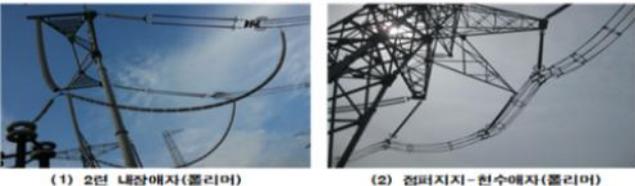


그림 1.7 애자교체 대상 애자련(붉은 원 내부)

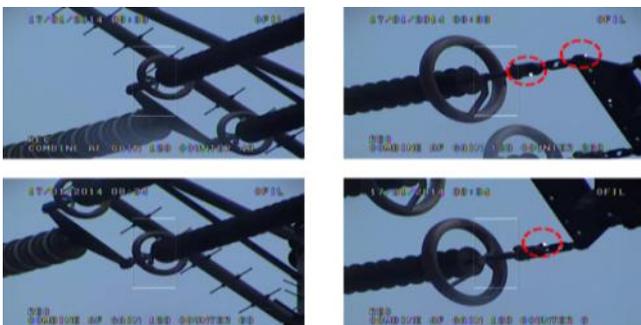


(1) 2련 내장애자(폴리머) (2) 점퍼지지-현수애자(폴리머)

<그림 4> 실증시험용 폴리머애자 설치 전경

### 2.3.3 실증시험 진행

매월 주간코로나(UV)와 열화상(IR)을 측정하였으며 2014년 1월 측정 사진을 보면 <그림 5>의 폴리머애자는 코로나 방전이 관측되지 않았으나 자기애자의 경우는 <그림 6>과 같이 코로나 방전이 관측되었고, 열화상 측정결과를 자기애자, 폴리머애자 모두 이상이 관측되지 않았다.



<그림 5> (+)극 내장애자(폴리머애자) UV측정 - 2014. 1. 17



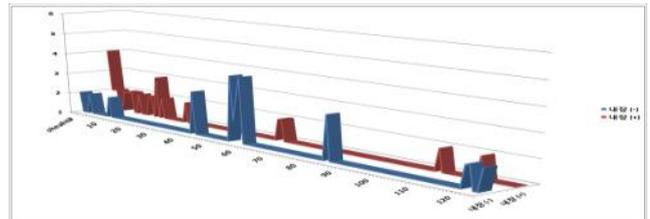
<그림 6> (-)극 내장애자(자기애자련) 코로나 방전 관측

### - ESDD/NSDD 측정 결과

IEC TS 60815에 따라 3개월, 6개월 및 1년 단위로 측정된 결과, 고장 전력시험센터 ±500kV HVDC 실증시험선로의 지역오손도는 IEC 기준으로 'Medium' 한전기준으로는 'B지구(0.063초과 ~ 0.125 mg/cm²)'로 평가되었다.

### - 실증시험 후 발수성 측정 결과

다음 <그림 7>에서와 같이 대부분은 1~2 등급이고, 일부 웨드의 발수성 등급이 'HC 4' 정도의 상태를 보여 오염에 따른 발수성 저하로 확인되었고 운영상의 문제는 없을 것으로 판단되었다.



<그림 7> 실증시험 후 발수성 시험결과 : (-) 및 (+)극 내장애자

### 2.4 실증시험시료에 대한 성능확인시험

실증시험을 마친 시료들에 대하여 성능확인시험을 수행한 결과, 이상이 없음을 확인하였고, 80kN~134kN의 교번하중을 3~4 Hz로 200만회 피로시험을 시행하고 나서는 인장과 피 시험한 결과도 기준 값 이상이었다.

<표 4> 실증시험 시료에 대한 성능확인 시험 결과

시험항목	시험기준	시험결과
직류주수내전압시험	600kV/1분	이상 없음
뇌충격내전압시험	2 700kV	이상 없음
개폐충격내전압시험	1 550kV	이상 없음
인장과피하중시험	400kN	이상 없음
가시코로나시험	525kV에서 가시코로나 없어야 함	이상 없음



<그림 8> 전기적 시험 및 피로시험 사진

## 3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 개발한 HVDC 500kV 폴리머애자를 사양(안)에 따라 개발시험을 통하여 성능확인을 한 후, 한국전력공사 전력연구원 고장 전력시험센터 HVDC 500kV 실증선로에 설치하여 1년간 실전압을 가압한 상태에서의 오손특성과 열화특성 등에 대한 실증시험을 수행하였고, 실증시험완료 시료에 대하여 공인시험기관에서 규격(안)에 따른 성능확인시험을 시행하여 신뢰성을 평가한 결과, 이상이 없음을 확인한 내용에 대하여 정리하였다. 종합하여 보면 개발된 HVDC 500kV 폴리머애자는 중(重)오손지구에 현장 적용이 가능한 수준의 제품으로 판단되어 수요처와 실 선로 적용을 위한 장기 신뢰성 검증방안의 도출이 필요할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] (주)평일, "친환경 기반 송변전용 디바이스 상용화 기술개발 (최종보고서) 2014. 09
- [2] (주)평일, "HVDC 500kV급 가공절연 디바이스 개발 (1단계 보고서) 2013. 07
- [3] 한국전력공사 전력연구원 "HVDC 500kV 폴리머애자 실증시험 결과 보고서 (최종)", 2014. 8

### 감사의 글

이 논문은 산업통상자원부에서 전력산업융합원천기술개발사업으로 지원한 "친환경 기반 송변전용 디바이스 상용화 기술개발" 과제에 의해 일환으로 수행된 연구의 결과로, 관계부처에 감사사를 드립니다.