

초고압 지중케이블 국제공인시험 방안

박흥석*, 강지원*, 장태인*
한국전력공사 전력연구원*

International Accreditation Test Method of EHV Underground Cable

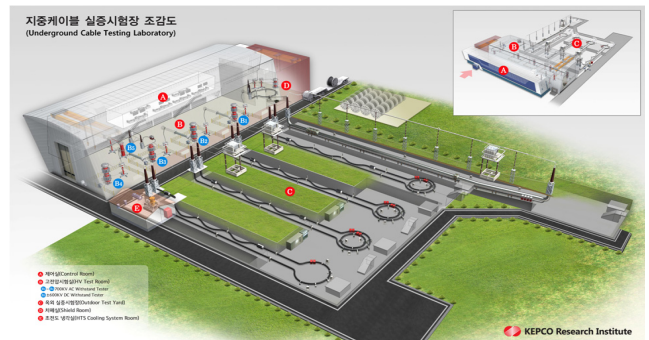
Hung-Sok, Park*, Ji-Won Kang*, Tae-In Jang*
KEPCO Research Institute*

Abstract - 국내의 지중케이블 시스템은 1970년대 154kV급 OF케이블이 도입된 이래로 현재까지 345kV급 OF/XLPE 케이블을 이용한 지중송전선로가 운영 중에 있으며, 도심지역의 전력공급을 위해 지중송전선로의 건설비중이 점차 증가하고 있다. 그러나 지중송전 계통에서 고장발생시 사회적 파장이 크고 가공송전선로에 비교할 때 복구에 대단히 많은 시간과 비용이 소요되므로 설비의 안전운전 및 장기신뢰성의 확보가 반드시 필요하다. 따라서 지중송전계통의 현장 조건을 고려한 실증시험장 구축의 필요성이 대두되어, 한국전력공사에서 정부의 인프라구축 지원사업으로 초고압 지중케이블에 대한 국제품질 공신력 확보 및 최적운영기술을 확보하기 위하여 장기 신뢰성 시험이 가능한 설비와 국제적 규모의 실증시험장을 구축하였다. 아울러 2011년 3월에는 ISO/IEC 17025에 따른 국제공인시험기관 자격을 취득하여, 국내외에서 제작되는 초고압 케이블에 대한 국제 공인시험이 가능하게 되었다.

따라서 본 논문에서는 한국전력공사 고장전력시험센터 내에 구축된 지중케이블 시험장 및 장기신뢰성 시험설비에 대한 소개와 더불어 국제표준에 따른 공인시험방안과 현재까지 지중케이블 시험장에서 수행된 케이블 시험에 대하여 소개하고자 한다.



〈그림 1〉 고장시험장 배치도



〈그림 2〉 지중케이블 시험장 조감도

1. 서 론

해외의 경우 백년 이상의 전력케이블 개발경험이 있어 많은 기술력이 확보되어 있음에도 대규모 실증시험설비를 개별적 또는 국가공용으로 확보하고 있으며, 신제품의 경우에도 개발 후 15년 이상의 장기 프로젝트를 통해 케이블의 장기실증시험을 수행하여 케이블의 장기신뢰성 확보 뿐만 아니라 케이블 개발기술의 축적과 시험기술을 확립하고 있다.

그러나 국내의 경우 초고압 지중케이블의 건설비중이 매년 증가하고 있는 추세 속에서도 실증시험설비 및 기술이 배전급에만 국한되어 있었고, 초고압 케이블 및 부속재를 대상으로 하는 시험설비는 케이블 제작사에서 보유하고 있는 개발시험용 설비외에는 전무한 실정이었다.

따라서 국내의 지중송전계통의 현장조건에 따른 장기신뢰성 실증시험장 구축의 필요성이 대두되어, 한국전력공사에서 정부의 인프라구축 지원사업의 일환으로 초고압 지중케이블 장기신뢰성 시험설비와 국제적 규모의 시험장을 구축하게 되었다. 또한 2011년 3월에는 ISO/IEC 17025에 따른 국제공인시험기관 자격을 취득하여, IEC 60840 및 62067 등 총 9개 국제표준에 따라 국내의 초고압 케이블의 인증시험은 물론, 해외 제작사의 케이블에 대한 국제공인시험이 가능하게 되었다.

또한 국내 지중송전계통에 사용되는 케이블 및 접속재에 대한 장기신뢰성 시험으로 전력공급의 신뢰도 향상과 국내의 공인시험 수행으로 외화 유출 저감 및 수익창출은 물론, 국가 경쟁력 제고에도 기여할 것으로 기대된다.

따라서 본 논문에서는 초고압 지중케이블 장기신뢰성 시험이 가능한 설비와 초고압 케이블 시험분야의 국제표준에 따른 공인시험 방안과 향후 수행이 가능한 초고압 지중케이블의 국제인증시험 방안에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시험장 구축 개요

지중케이블 시험장이 위치한 한국전력공사 고장전력시험센터에는 그림 1에서 보는 바와 같이 765kV 송전 및 변전설비와 임펄스시험장, 배전시험장 등 15개 이상의 다양한 시험을 목적으로 하는 실증시험장과 최근 구축된 태양광 실증시험장 및 분산전원 시험장 등 신재생 에너지와 스마트그리드(Smart Grid) 등에 대비한 실증시험 연구를 수행할 수 있는 시설이 약 840,000[m²]의 면적에 구축되어 운영 중에 있다. 그림 2와 같이 지중케이블 시험장은 폭 45m, 길이 115m, 높이 26m의 시험·제어동 건물과 지중케이블의 포설환경과 동일한 시험용 지하전력구 및 토목구조물을 포함하여 전체 대지면적이 약 36,000[m²] 크기로 구축되었다.

2.2 장기신뢰성 시험설비 구축 현황

〈표 1〉 시험설비 현황

설비명	set	규격 및 정격	주요용도
AC Voltage Generator	1	Winding Type 800kV 10A	초고압 케이블 PQ & Type Test
AC Voltage Generator	1	Resonant Type 700kV 14A	
AC Voltage Generator	1	Resonant Type 700kV 6A	
±600kV DC Voltage Generator	1	±600kV 50mA (극성반전 2분)	DC 케이블 PQ & Type Test
Impulse Voltage Generator	1	4000kV 400kJ	충격전압시험
AC Current Source	3	단상 60Hz 6kA 720kVA	초고압, 초전도 케이블 부하주기시험
AC Current Source	1	삼상 60Hz 6kA 504kVA	
DC Power Supply	1	15kA/5V	초전도 케이블 실증시험(DC Ic)
Wall Bushing	4	700kV 폴리머(내염용)	시험전압 인가
Shield Room	1	PD Level 2pC 이하	초고압 케이블 PD 시험
DAS	5	-	시험 Data 취득 및 관리

지중케이블 실증시험장에 설치된 초고압 케이블 시험용 설비는 <표 1> 에서 보는 바와 같다. 주요 설비로는 케이블의 내전압 시험 및 열주기 전압시험(부하주기시험) 등에 사용되는 AC/DC 내전압 시험기와 열주기 전압시험을 위한 AC 전류원, 그리고 케이블의 부분방전 측정을 위한 차폐실(Shield Room) 등이 구축되어 있다.

2.3 초고압 케이블 국제공인시험 방안

지중케이블 시험장은 2011년 3월 ISO/IEC 17025에 따라 9개 국제표준, 16개 항목에 대한 국제공인시험기관 자격을 취득하였다. 아래의 <표 2>는 인정 취득한 국제표준 9개 중에서 케이블 시험의 모규격인 주요 4개의 표준으로서 <표 2>에서 초고압 지중케이블 및 완성된 케이블시스템의 전기적인 형식시험과 장기과동전 시험이 가능하며, IEC 60840에서 규정하는 초고압 케이블의 주요 시험은 다음과 같다.

<표 2> 초고압 지중케이블 국제공인시험 가능범위

규격번호	대상 케이블	시험범위
IEC 60840 : 2006	정격전압 30~150kV급 XLPE 케이블	전기적 형식시험 (Type Test) 및 장기과동전 시험 (FQ Test)
IEC 62067 : 2006	정격전압 150~500kV급 XLPE 케이블	
IEC 60141-1 : 2001	정격전압 500kV 이하 OF 케이블	
CIGRE 219 : 2003	정격전압 250kV 이하 DC XLPE 케이블	

2.3.1 부분방전 측정시험

초고압 케이블의 부분방전 시험은 IEC 60885-3에 따라 실시한다. 시험전압은 IEC 60840에 따라 정해진 정격전압을 서서히 $1.75U_0$ 까지 올려 10초동안 유지한 후 $1.5U_0$ 로 서서히 감소시켜 부분방전을 측정한다. 고온에서 실시할 경우, 케이블 도체 온도가 정상 동작시 최대 케이블 도체 온도보다 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 높은 조립품으로 실시하며, 도체온도는 최소 2시간 동안 위에 기술한 온도 범위, 즉 154kV XLPE 케이블의 경우 도체온도 $90\sim 95^\circ\text{C}$ 보다 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 높은 온도 범위를 유지해야하며, 최종적으로 $1.5U_0$ 에서 감도 5pC를 초과하는 부분방전이 시험체에 검출되지 않아야 한다.

2.3.2 열주기(Heat Cycle) 전압시험

열주기 전압시험은 부하주기(Load Cycle) 시험이라고도 하며, 케이블 도체가 정상 동작 조건에서 최대 도체 온도보다 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 높은 온도에 도달할 때까지 조립품을 도체 전류로 가열한다. 가열주기는 최소 8시간이며, 도체 온도는 각 가열 기간 중 최소 2시간 동안 상술한 온도 범위에서 유지되어야 한다. 그 후 도체 온도를 시험 상온의 10°C 내로 최소 16시간 자연 냉각시킨다. 형식시험(Type Test)의 경우 가열과 냉각을 20회 실시하며, 이때의 시험전압은 $2.0U_0$ 를 조립품에 인가하고, 장기과동전시험(Pre-qualification Test)의 경우 시험전압 $1.8U_0$ 로 360회 실시한다.

2.3.3 임펄스 전압 시험 후 전원 주파수 전압시험

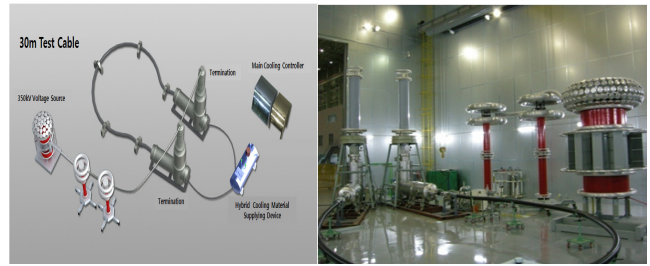
이 시험은 케이블 도체 온도가 정상 동작시 최대 도체온도보다 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 높은 조립품으로 실시한다. 케이블의 임펄스 전압시험은 IEC 60230에 규정한 절차에 따라 인가한다. 임펄스 인가전압은 케이블의 정격전압에 따라 해당 값의 정극성과 부극성 각 10회 인가하였을 때 결함이나 섬락이 발생하지 않고 견디어야 한다.

임펄스 전압시험 후 조립품에 전원 주파수 전압시험을 $2.5U_0$ 에서 15분 동안 실시한다. 제조자의 제량에 따라 이 시험은 냉각기간 중에 또는 상온에서 실시할 수 있으며, 이때에도 절연체의 절연과파나 섬락이 발생하지 않아야 한다.

2.4 초고압 케이블 시험 수행실적

2.4.1 154kV HTS 케이블시스템 Type Test

154kV HTS(High Temperature Superconductivity) 케이블은 기존에 개발된 138kV급보다 공칭전압을 높여 국내 실계통 조건에 맞춘 세계최초로 국내에서 개발된 케이블로서, 현재 지중케이블 시험장에서 Type Test를 수행하고 있다. 초전도 케이블은 현재까지 명확하게 규정된 국제표준이 없기 때문에 IEC 60840의 AC 케이블에 대한 규정에 준하여 시험을 수행하고 있으며, 향후 본 시험의 결과에 따라 HTS 케이블에 대한 시험표준의 제정이 기대된다. 그림 5는 현재 수행 중인 HTS 케이블의 Type Test 요약도 및 시험사진이다.



<그림 5> 154kV HTS 케이블의 Type Test

2.4.2 154kV 지중송전 PMJ 접속 시공품질 확인시험

2009년 하반기부터 국내에서도 154kV 지중송전선로의 케이블 제작과 선로의 포설이 분리되는 이른바 시공분리가 시작되어, 지중송전 시공전문업체의 시험의뢰에 따라 지중케이블 시험장에서 XLPE 케이블의 PMJ (Pre-Molded Joint) 접속 시공기술을 확인하는 시험을 수행하였다.

본 시험에서는 IEC 60840과 CIGRE Recommendation 303 "Expand Qualification Test"에 준하여 90주기의 열주기 전압시험과 정/부극성 각 10회의 뇌임펄스 전압시험 등을 실시하였다. 아래의 그림 6은 본 시험의 시험선로 구성도 및 현장설치 사진이다.



<그림 6> PQ Test 회로도 및 현장설비

2.4.3 기타 수행시험 실적 및 계획

$\pm 180\text{kV}$ HVDC 해저케이블 보수자재의 Type Test를 2009년 1월에 수행하였다. 이 시험은 DC 케이블에 대한 시험으로 CIGRE Electra 189의 전기적 시험방법에 따라 수행되었으며, 내전압시험, 극성반전시험, 부하주기시험 및 중첩임펄스 시험으로 고창 전력시험센터에서 실시하였다.

2011년 6월부터 국내개발 345kV급 가스절연송전선로(GIL : Gas Insulated Transmission Line)의 PQ Test를 수행할 예정이다. GIL 시험은 450kV의 내전압시험 1분과 부하주기시험 130주기, 그리고 임펄스 전압시험으로 구성되어 있다.

이 밖에도 국내 초고압 케이블 제작사에서 의뢰한 해외수출용 케이블에 대한 형식시험을 수행하고 있으며, 2011년 하반기부터는 고전압시험분야 국제공인시험기관인 네덜란드 KEMA와 공동으로 50kV급 케이블에 대한 형식시험과 장기과동전 시험을 수행할 예정이다.

3. 결 론

세계적 수준의 초고압 지중케이블 실증시험장이 국내에 구축됨으로써, 기술적으로는 지중송전계통의 장기신뢰성 시험기술을 확립하는 계기가 되었고, 해외 인증시험을 통한 국내 제작사의 제작 및 설계기술 유출방지에 기여할 수 있다. 경제적인 측면에서는 신기술 지중케이블 및 부속재의 국산화 촉진으로 지중선로의 경제성 및 신뢰성 확보가 가능하고, 해외 시험의뢰 비용의 외화유출 방지, 해외 개발 케이블의 장기신뢰성 인증평가 업무로 수익창출을 기대할 수 있다.

지중케이블 실증시험장은 기본설계 및 구축단계부터 정부, 기업, 연구원의 공동참여로 이루어진 만큼 준공 후에도 지속적인 공동연구가 가능하고, 국제적인 품질인증기관의 협조체제를 구축하여 인증시험 기술에 관한 조직 및 인력을 확보함으로써 향후 국내의 전력케이블에 대한 품질 인증설비로서 그 활용도를 극대화 할 수 있을 것으로 전망된다.

[참 고 문 헌]

[1] 김진, 강지원, 박홍석, "초고압 지중케이블 장기신뢰성 실증시험장 구축", 대한전기학회, 제40회 하계학술대회 pp383-384, 2009.7
 [2] KS C IEC 60840 : 2006 "정격전압 30~150kV 이하 압출절연 전력 케이블 및 그 부속품 - 시험방법과 요구사항" 한국표준협회, 2006