

전력 케이블의 최근 연구 및 기술 동향

김동욱, 최명규
LG 전선(주) 전력 연구소

Recent research and technical trend of power cable system

Abstract - This paper describes the recent research and technical trend of power cable system. Compact sizing with long length and large capacity is the main trend of the power cable. From the manufacturing process to the monitoring of the underground power line, various new techniques are being developed for reliability and high quality such as in-line monitoring system, triple common extrusion, PD measurement system, new type completion test, etc.

1. 서론

최근 대도시를 중심으로 한 전력 수요가 급증하고 있으며, 이를 위한 전력 케이블은 전기에너지를 수용가까지 안전하게 송전하는데 있어 매우 중요한 수단이 되고 있다. 현재까지 여러 방면에서 전력케이블에 대한 꾸준한 연구가 지속되어오면서 케이블 생산기술의 발전이 있어왔고, 효율적 송전기술의 연구와 더불어 절연재료의 개량 또한 꾸준히 지속되어오고 있다.

이러한 전력 케이블은 사용하는 절연재료에 따라 크게 지절연 OF 케이블과 고체 절연 XLPE 케이블로 대별되며, 케이블 상호간의 접속 및 가공선 또는 전기 기기와의 접속을 위해 접속합과 함께 실선로에 포설된다. 또한 지중 선로에서는 케이블을 안정적으로 운용하고 사고를 미연에 방지하기 위해 감시 시스템이 운영되고 있다. 본 고에서는 전력 케이블의 최근 연구 및 기술 동향을 살펴보고 이에 따른 제조, 접속합, 감시시스템, 준공시험 등에 대해서 포괄적으로 서술하고자 한다.

2. 본론

2.1 전력 케이블의 최근 동향

전력 케이블은 대도시 밀집 지역에서의 전력 수요 증가에 따라 점차 대용량화를 추구하는 추세이며, 이를 위해서는 XLPE 케이블의 초고압화, OF 케이블의 반합성지 절연화, GIL의 장거리화를 통하여 송전 용량을 증가시키기 위한 노력이 계속되고 있으며¹⁾ 또한 고온 초전도체를 이용한 초전도 케이블에 관한 연구도 추진되고 있다.

대용량화와 더불어 케이블 자체의 Compact 화를 위한 지속적인 연구가 추진되어 오고 있는데²⁾, 궁극적으로는 절연두께 저감을 위한 기술개발이 주요개발 목표로 되고 있다. 이를 위해서 초정정 절연재료의 개발 및 취급 공정 프로세스의 개발을 통한 이물 관리의 최적화, OF 케이블에 있어서는 반합성지(PPLP) 절연 그리고 직류송전 케이블의 경우 공간전하 축적 저감 절연재료의 개발 등이 있다. 최근에 154kV XLPE 케이블의 절연두께는 이러한 연구개발에 힘입어 23mm에서 19mm를 거쳐 17mm 정도로 저감화가 되어 있는 상황이다. 이러한 절연체 저감 기술과 함께 케이블의 수송경비 및 접속개소의 최소화를 위한 케이블 장조장화를 위한 노력이 진행되고 있다. 그림 1은 최근 대용량 케이블의 송전 용량과 외경을 나타낸 것이다.

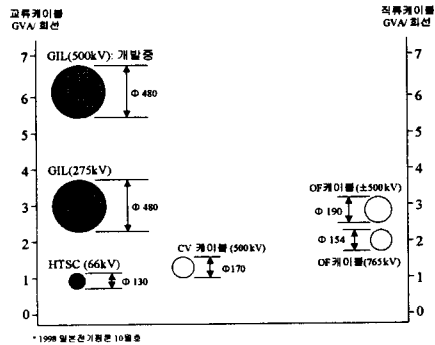


그림 1. 최근 대용량 케이블의 송전용량과 외경

현재 전력 케이블의 개발 수준은 지절연 OF 케이블의 경우 Sumitomo와 Pirelli에서 765kV급까지 상용화하였으며, 고체 절연 케이블의 경우 XLPE를 절연재료 하여 일본의 여러 전선 회사에서 500kV급을 개발하여 동경의 40km 구간의 실선로에 적용 중에 있다. 그러나, 최근 지절연 OF 케이블은 사고시 절연유 유출에 따른 환경 친화적인 문제와 유압을 대기압 이상으로 유지하기 위한 급유 설비가 필요하다는 문제등의 이유로 점차 XLPE 케이블로 대체되어 가고 있는 추세이다. 그림 2는 XLPE 전력 케이블 전압 격상 추이

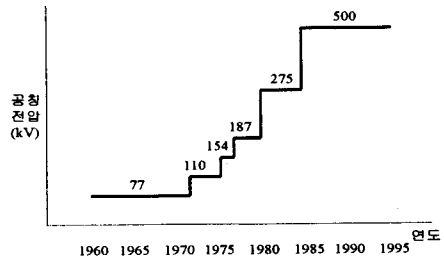


그림 2. XLPE 전력케이블의 전압 격상 추이

차세대 케이블로서는 액체 절소 온도에서 초전도성을 나타내는 산화물 초전도체를 사용하여 대전류를 송전하는 고온 초전도 케이블에 대한 연구가 미국과 일본의 전력, 전선 업체를 중심으로 활발히 이루어지고 있으며, Southwire 등에서는실선로에 시험운전 중에 있다.

2.2 전력 케이블의 주요 기술

2.2.1 XLPE 케이블 제조 기술³⁾

XLPE 케이블에서 발생할 수 있는 국부 결함과 열화 예를 그림

3에 표시하였다. 이러한 불량 요인을 제거하기 위하여 Super-clean 환경에서 케이블 제조 공정이 관리되고 있으며, 압출 과정에서는 실시간 모니터링을 통하여 이물을 검출하는 In-line monitoring 기술과 내부 반도체층, 절연층, 및 외부 반도체층을 동시에 압출하는 3중 동시 압출 (Triple Common Extrusion, 그림 4) 방식이 선진 기술로서 적용되고 있다.⁴⁾

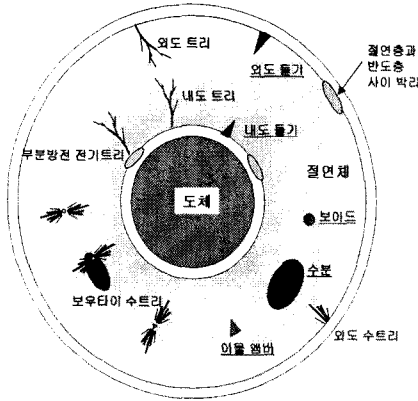


그림 3. XLPE 케이블의 국부결합과 열화에

또한 가교 공정을 자동 제어하며 케이블의 두께와 직경을 실시간으로 체크하여 절연체의 균일성을 유지할 수 있도록 하고 있다.

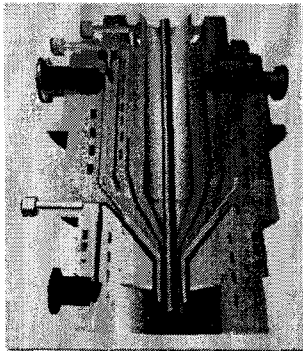


그림 4. 3중 동시 압출

2.2.2 접속함

접속함의 경우 현장에서 조립하는 TMJ(Tape Molded Joint), EMJ(Extrusion Molded Joint) 타입에서 생산 공장에서 미리 성형되는 PJB(Prefabricated Joint Box), PMJ(Pre-Molded Joint) 타입으로 변화해 가는 추세에 있으며, 이를 통하여 사용전압 등급에서의 품질 신뢰성 확보와 시공 기간의 단축에 의한 경제성 확보를 가능케 하고 있다. 하지만 500kV급 XLPE 케이블의 접속의 경우에는 이물의 철저한 관리가 요구되어, 시공상의 어려움은 있으나 품질적 측면을 고려하여 EMJ 가 실용화되어 있다. 표 1에 접속함의 종류에 따른 활용 전압 등급 및 주절연 재료 등에 대한 내용을 나타 내었다.

표 1. 케이블 직선 접속함의 종류

	TMJ	PMJ	PJB
Structure			
Voltage	66 - 154kV	66 - 400kV	66 - 400kV
Main insulation	XLPE	Silicone rubber	EPR, Epoxy
Specification	IEC90840 IEEE404	IEC90840 IEEE404	IEC90840 IEEE404
Assembling time	Long	Short	Long
Cost	100%	80-110%	110-130%
Personal skill	High	Normal	Normal

2.2.3 자중 선로 감시 시스템

최근 사용전력의 증가와 더불어 송배전용 케이블에 대한 기술개발 이외에 송배전 선로의 감시 제어를 통한 공급전력 품질의 향상 시키기 위한 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 또한 사용자측에서도 정전 사고의 등의 사전 방지를 위한 관심이 크게 증가되고 있어, 전력케이블을 송전하는 주변 선로 환경에 대한 안정성 확보를 위한 연구개발이 점차 주요 연구대상 분야가 되고 있다.

지하 전력구는 고습도에 따른 침수 위험이 존재하고 케이블 사용 중 발생할 수 있는 화재 및 폭발에 대한 위험도 있다. 때문에 출입자의 제한과 지속적인 유지 보수 활동이 필요하며, 설비의 효율적 운영을 위해서 종합적인 감시 제어 시스템에 대한 요구가 증대되고 이에 대한 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 미국-성동 구간에서 시스템을 설치, 운영하고 있으며 양주-당인리, 북부산-남부산 등으로 적용이 확대될 예정이다.

감시 제어 시스템에 적용되는 주요 기능과 이를 위한 설계시 중점 사항을 표 2에 나타내었다. 이러한 전력구 감시 이외에 케이블 선로 자체의 품질 감시와 선로 사고예방을 위한 부분방전 감시 시스템에 대한 실용화 연구가 추진되고 있는 추세이다. 이는 케이블 선로는 접속시 접속부위에 결합이 개입될 확률이 가장 높기 때문에, 접속함 부위에 부분방전 감지 센서를 설치하고 상시 감시할 수 있게 하는 것으로, 외부 Noise 차단 및 Filtering 기술, 최적 센서 설계기술, PD Pattern 인식 기술 등에 대한 기반 기술의 개발이 필수적으로 요구되고 있다. 그림 5에는 온라인 부분 방전 감시 시스템에 대하여 나타내었다. 또한 광 섬유를 이용하여 케이블의 온도를 측정하고 실시간 송전량을 제어함으로써 송전효율을 향상시킬 수 있는 DTS (Distribution Temperature Sensor) 기술 등이 선로에 적용되고 있다.

표 2. 감시제어 시스템 감시기능 개요

주요 기능	출입자 통제	
	근형선서, 적외선 센서, 인덕션, 방화문	
주요 기능	화재 감시	본모 온도 측정 장치, 본연의 화재 센서
	폭기	Water mist 살수 장치
	케이블 급유 감시	유압, 유위 감시에 의한 미세 누유 경음
	케이블 사고 지점 감시	본모 온도 측정 장치
	전력구 내 화상 감시	ITV CAMERA (출입구, 침수 예상 지역)
	부대설비 관리	배수펌프, 환기팬, 조영

설계	광통신 적용	▶ 장거리, 초고속 데이터 통신 ▶ 데이터 전송의 신뢰성 제공
	시스템의 내 환경성	▶ 광통신, 광섬, 서지흡수 등에 의한 장비 보호 ▶ 침수 방전 ▶ 화재 발생시 자동으로 상층을 복구고려
중점 사항	시스템의 신뢰성 (이중화 부트, UPS)	▶ 통신선로 장애시 장애 극복 ▶ 데이터 수신 불가 지역 최소화
	시스템의 유연성	▶ 향후 확장 및 타구간 연계에 대한 용량 확보 ▶ 센서 추가, 설치위치 변경이 용이하도록 함
운영의 용이성		▶ Windows 기반 운용 Software (GUI) ▶ GIS(Geomatic Information System) 사용

2.2.4 준공 시험

케이블을 포설하고 난 후, 준공시험으로서 직류를 인가하여 평가하는 방법이 오랜 동안 수행되어져 왔다. 그러나 준공 시험시 인가되는 전기적 에너지에 의해 케이블 내에 전하가 축적되고, 이로 인해 케이블 성능이 저하되는 문제가 발생하고 있다. 이를 위해 지금까지 꾸준히 기존의 준공시험을 대체할 최적의 준공시험 방안을

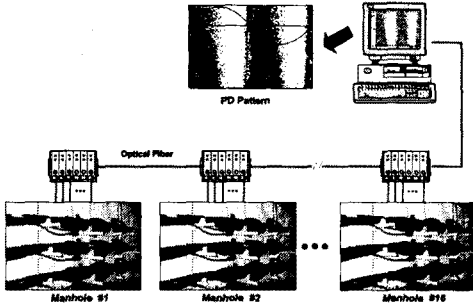


그림 5. On-Line 부분방전 감시시스템

구축하기 위한 연구가 추진되어 오고 있는데, 이러한 연구의 주요 목표는 교류에서도 모든 결함을 검출할 수 있어야 할 것, 준공시험으로 인해 케이블 절연체에 손상을 주어서는 안될 것, 시험 설비의 현장으로 이송이 용이해야 할 것 그리고 시험 비용이 경제적이어야 할 것 등에 초점이 맞추어져 연구가 행해지고 있다. 따라서 교류 전압을 사용하여 시험하는 것이 가장 이상적인 방법이지만, 시험의 어려움과 높은 비용 때문에 보다 효율적인 교류를 모사할 수 있는 대체 방안에 대한 연구가 추진되고 있다. 현재까지 연구되고 있는 대체 방안은 OW(Oscillating Wave), VLF(Very Low Frequency) 등이 있고, 또한 교류전압의 인가와 병행으로 부분방전 시험을 동시에 적용하여 평가하는 방법들이 시도되고 있기도 하다.

3. 결론

최근 전력 케이블의 기술 동향은 단순히 송전 용량만을 증가시켜 전력 수요에 대한 공급을 만족시키는데 있지 않고 제조 공정과 포설, 운용, 전력 서비스에 이르기까지 고품질과 신뢰성의 확보를 목표로 하고 있다. 모든 단계에서 철저한 기술 개발을 통하여 기술 경쟁력을 확보해야 하고, 전기, 전자, 기계, 토목, 화학 등의 여러 분야가 유기적 기술공유가 필요한 상황이며, 이를 위한 기술 협력 체계 구축과 연구 활동이 활발히 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이종범, "지중송전 케이블의 대용량화 현황 및 과제", 대한전기학회지, Vol.40, No. 8, pp. 49-52
- [2] 박대희, 이종범, 關井康雄, "最新 XLPE 電力 케이블의 絶緣設計와 新絶緣材料 技術動向", 大韓電氣學會誌, Vol. 44, No. 5, p. 34, 1995.
- [3] 超高压試驗法 専門研究會, "電氣協同研究", 電氣協同研究會, Vol. 51, No. 1, 平成 7年.
- [4] 최명규, 이승엽, "전력 케이블(XLPE)의 설계 및 제조 기술", 전기 전자 재료 학회, 9호, 제 42권, pp. 9-18, 2000. 2