

# 고압 전력기기의 기술동향 (전력케이블을 중심으로)

박원기

(\*LG전선(주) 전력연구실장)

## 1. 전력 케이블

현대 사회는 전기 에너지 없이는 하루도 유지될 수 없는 사회이다. 최근의 대도시 인구집중현상으로 전력수요의 밀도가 급격히 높아짐에 따라 전력전송의 중요성이 날로 증대되고 있으며, 이를 위한 전력 케이블은 전기 에너지를 전달하는 현대 문명 사회의 동맥으로 인정되고 있다. 전력 케이블은 1812년 러시아에서 Shilling이 고무 절연선을 최초로 사용한 이후 절연 재료 및 생산 기술의 발전에 힘입어 현재에는 신뢰성 높은 제품이 송전 및 배전 선로에 사용되고 있다. 이러한 전력 케이블은 지절연 케이블과 고체절연 케이블로 대별되며, 케이블 상호간의 접속 및 가공선 또는 전기 기기와의 접속을 위해 접속함과 함께 실선로에 포설된다. 본 고에서는 전력 케이블과 그 접속함에 대한 기술동향에 대하여 서술하고자 한다.

## 2. 전력 케이블의 기술 현황

지절연 케이블의 대표적인 OF 케이블(Oil Filled cable)은 유침지를 이용하여 절연하는 방식으로 대기압 이상의 압력을 외부에서 가하는 구조이다. 초기의 OF 케이블은 크라프트지와 광유(鎔油)를 사용하였으나, 1970년대 중반 500kV급으로 초고압화되어 감에 따라 탈이온화시킨 저밀도, 고기밀도의 크라프트지와 알킬벤젠계 합성유를 개발, 사용하여 송전손실, 외경, 중량 등을 대폭 감소시키고 대용량 장거리 송전도 가능하게 되었다. OF 케이블은 유럽 등을 중심으로 발달해 있다.

또다른 지절연 케이블로서 OF 케이블의 금속시이스와 관로를 고강도의 강관으로 바꾼 POF 케이블이 있는데, 이는 미국 동지에서 주로 사용되고 있다.

이러한 OF 케이블의 세계적인 기술수준은 그 척도를 '상용화 최고전압'과 '반합성지 절연기술'로 보았을 때, 住友와 PIRELLI가 765kV급으로 선두를 달리고 있고, ALCATEL,

ABB, BICC, SIEMENS, F&G, 日立, 古河, 藤倉, 三菱, 昭和 등이 500kV급으로 뒤따르고 있다. 국내적으로는 1976년 대한전선(주)의 154kV급 OF 케이블이 최초로 포설된 후, 현재까지 154kV급이 주종을 이루고 있으며, 1992년 LG전선(주)이 삼천포 화력 발전소에 345kV급 케이블을 포설한 이후 본격적으로 상용화되고 있다. 이러한 케이블과 함께 사용되는 접속함의 경우는 전통적인 지절연 방식에서 부분적으로 pre-fabricated화되고 있는 추세로서, 국내적으로는 1988년 154kV급 접속함이 대한전선(주)에 의해 국산화되었으며, 1997년 345kV급 접속함이 LG전선(주)과 대한전선(주)에 의해 공동으로 개발되었다.

재래의 OF 케이블 방식은 유전체 손실이 크기 때문에 장거리 송전선로에 적용하기 위한 저손실형 OF 케이블 개발의 요구에 부응하여 절연성능과 유전특성이 향상된 Polypropylene 적층 유침지를 사용한 OF 케이블(PPLP:Polypropylene Laminated Paper)이 출현하였다. PPLP는 절연재질의 높은 절연내력에 따라 절연두께를 줄여 케이블의 외경과 중량의 감소를 실현시켰고, 낮은 송전 손실에 의해 대용량 송전을 가능하게 하였다.

고체 절연 케이블의 대표격인 CV 케이블(Crosslinked polyethylene insulated poly-Vinylchloride sheathed cable)은 가교폴리에틸렌을 주 절연체로 사용하는 전력 케이블로서, OF 케이블과 비교하여 절연유와 관련된 부대설비가 필요하지 않아 설계, 시공, 보수 등이 용이하다. 특히 환경에 대한 관심이 높아져가고 있는 현실에 비추어 환경 친화적인 장점을 가지고 있어 선호되고 있다. CV 케이블은 일본을 중심으로 기술이 발전하여 전세계적으로 사용량이 급증하고 있다.

저밀도폴리에틸렌(LDPE)이 처음 출현하였을 때인 1940년대의 PE 케이블은 지절연이나 고무절연 방식보다 고온특성에서 열세에 있었으나, 내열성 개선의 목적으로 고분자쇄를 화학적으로 가교 결합하여 열적, 기계적인 특성을 향상시킨 XLPE(Cross Linked Polyethylene)의 출현으로 비약적인 발전을 하여 오늘에 이르고 있다. 이러한 CV 케이블의 기술 수준을 가늠하는 척도를 '상용화 최고전압'과 'XLPE compound 기술'로 본다면, 日立, 住友, 古河, 藤倉 등이

500kV로 선두를 달리고 있고, 三菱, 昭和, ABB, ALCATEL, SILEC, SIEMENS, F&G 등이 275kV급으로 그 뒤를 쫓고 있다. 국내적으로는 LG전선(주)이 1983년 154kV급 케이블을 최초로 상용화하였고, 현재 345kV급 케이블을 개발 중에 있다. 접속함의 경우 현장에서 조립하는 tape molding, extrusion molding 방식에서 공장에서 미리 성형되는 prefabricated, premold 방식으로 변화해 가는 추세로 신뢰성의 확보와 시공기간의 단축을 실현시켰다. 국내적으로는 1988년 154kV급 접속함이 LG전선(주)에 의해 국산화되었다.

CV 방식은 절연유를 사용하지 않는 건식절연이므로 특히 배전용 케이블에서 사용이 용이하여 현재 저압 전력케이블에서 초고압 전력케이블에 이르기까지 널리 이용되고 있으며, 건식가교와 3층 동시 압출법 등에 의해 절연체내의 보이드, 수분함유, 전극돌기, 이물 등의 침투 기회를 제거함으로써 운전전계(working stress)를 향상시켜 154kV급의 경우 5~7kV/mm에 이르고 있다.

CV 기술의 핵심은 초고순도 절연체 제조에 의한 절연 저항이라 할 수 있다. 절연체내의 불순물은 트리 및 부분방전 등의 현상을 거쳐 절연파괴에 이르게 하므로 케이블 최대의 적이라 할 수 있어, CV 기술은 '불순물을 얼마만큼 억제시킬 수 있는가'에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 이를 위하여 절연 재료의 이물 배제 시스템과 이물 검출 장치 등이 활발하게 연구·개발되고 있으며, 일본의 500kV CV 케이블의 경우는 절연두께의 수준이 27mm급이고, 국내 154kV의 경우는 23mm 수준에서 17mm로의 저감 개발이 진행 중에 있다.

### 3. 전력 케이블의 시장 동향

전세계적으로 불 때 무역과 관세에 대한 장벽이 낮아지고 선진국들의 기술공격이 점차 심화되는 무한경쟁 시대에 돌입하게 되어, 각 나라간의 국경의 의미가 점점 더 줄어들고 있다. 국내적으로도 이러한 시대 조류에 편승하여 기존의 일본 전력회사 사양을 근간으로 한 사양에서 수요자 요구 특성과 기기간의 조화를 중요시 여기는 IEC(International Electrotechnical Commission) 사양화 하고 있다. 154kV CV 사양의 경우 1996년 11월 사양이 변경되었고, OF 케이블의 사양도 IEC화를 진행중에 있다. 이와 같은 사양의 국제 단일화로 우리나라의 전선 메이커는 세계적인 업체들과 경쟁하지 않을 수 없게 되었고, 국내적으로도 중소 전선 업체들이 초고압 전력 케이블 분야에 신규 참여하여 154kV급 케이블 개발을 착수하여 국내시장에서도 치열한 경쟁이 예상되며, 이러한 경쟁을 통한 케이블 기술수준의 향상이 예상된다.

오늘날에는 국제화시대에 알맞은 경쟁력을 갖추어야 하므로, 기술의 전반적인 고품질화를 위해 국내 대기업에서는 품질에 관한 국제인증인 ISO 9000과 환경에 관한 국제인증인 ISO 14000을 획득하고 있다.

초고압 분야에서 국내 케이블업체의 해외진출은 대기업

들이 중동 및 동남 아시아지역을 위주로 활발한 수출을 하고 있으며 LG전선(주)이 1996년 161kV급 CV 케이블을 Israel에 세계 최대의 규모로 수출하여 세계 시장으로 발돋움하고 있다. 한편 중국, 말레이시아, 베트남 등의 현지 법인도 성공적으로 경영되고 있다. 국내 케이블 시장이 포화 단계에 가까워진 것을 고려할 때, 향후에는 기술 수준을 높여 미개척 세계시장으로 진출하는 것이 절실히 요구된다.

### 4. 기술 발전 동향

지중 송전 케이블의 송전용량을 증가시키는 방법에는 운전전압의 격상과 통전 전류의 증대가 있다. 운전전압은 신 절연재료의 개발이나 기존재료의 절연성능을 향상시켜 절연층의 두께를 줄이는 절연 저감 등을 통하여 격상시킬 수 있다. 통전전류는 유전체손, 도체손, sheath손 등의 절감과 도체사이즈의 대형화로 인한 발생열량의 감소, 외부, 표면, 도체를 강제 냉각시키는 기술과 매설지점의 토양이 가지고 있는 고유의 특성에 관한 합리적 평가에 의한 열방산 특성의 개선, 상시자동 온도감지를 통하여 통전 전류를 합리화 하는 허용전류의 재평가 등의 방법에 의하여 증대시킬 수 있다.

케이블의 신뢰도는 열화진단이나 수명 예측 등의 방법에 의해 확인할 수 있으며, 전력 케이블의 유지·보수에 대한 개념은 사고시 피해가 작고 보수가 용이하던 초기에는 사후보수가 주류를 이루었지만, 최근에는 사고를 미리 예측하고 대비하는 예방진단의 개념으로 변환되고 있다. 케이블 열화진단 방법은 분류기준에 따라 전기적인 시험과 비전기적인 시험, 파괴시험과 비파괴 시험, 사선시험과 활선 시험 등으로 나눌 수 있으며 최근에는 활선 시험 방법이 활발하게 연구·개발되고 있다.

케이블의 열화정도를 판정한 후에는 앞으로 남은 잔여수명을 예측하는 것이 중요하다. 종래에는 V-t 곡선을 근거로 하여 결정론적 방법으로 추정하여 왔지만, 케이블의 포설조건과 사용조건이 제각각 다르기 때문에 이에 따른 수명도 달라지므로 설정 신뢰도에 의한 수명추정 방법이 새로 제안되어 사용되고 있다.

전력 케이블은 주로 공장 또는 대도시의 도로지반에 분포하고 있어 장애나 정지 시에는 막대한 시간적, 경제적 손실을 입게되므로 케이블 상태에 대한 확인, 점검이 시공 후에도 지속적으로 요구된다. 선로의 운전정보를 종래에는 사람에 의한 정기적 일상 점검에 의존하였으나, 컴퓨터와 광기술의 발달과 더불어 전압, 전류, 유압, 온도, 습도, 가스, 화재, 케이블 거동 등의 선로 운전 정보를 센서로부터 받아들이어 광신호화하고 연속적으로 중앙관리소로 전송, 상시 감시하는 기술이 실현되어 국내에도 1996년 성동-미금 구간 345kV급 선로에 LG전선(주)이 최초로 실용화하였다. 한편 전력 케이블내에 광파이버를 삽입하여 케이블의 길이방향 온도 분포를 측정할 수 있도록 하는 전력·광통신 복합 케이블이 LG전선(주)과 대한전선(주)에 의해 공동개발 되었다.

전술한 전통적인 방식의 케이블 외에도 현재 연구중이거나 일부 사용되고 있는 새로운 케이블 방식으로 GIL(Gas Insulated Line), 해저용 케이블, 직류용 케이블, 광복합 케이블, 극저온저항 케이블, 초전도 케이블 등이 있으며 이들 방식이 향후 대전력 수송 케이블(bulk power cable)로 발전될 것으로 기대된다.

## 5. 향후과제

지중송전은 전기, 기계, 금속, 토목, 화학 등 여러 분야가, 또한 전기분야도 계통, 재료, 고전압 등의 여러 분야가 유기적으로 협력하여야 하는 종합적 기술이다. 따라서 국내에서도 계통 병입 관점에서의 보다 종합적인 지중 계통 계획 수립과 기존케이블의 관련 기술 개발 및 신종 케이블의 과감한 개발착수가 이루어져야 하겠다. 또한 전력 에너지의 효율적 전달 및 고품질화를 위해 송전용량증대와 감시진단

시스템을 발전시키고, 기술 발전을 위한 산학연의 기술 협력체제 및 연구활동이 활발히 진행되어야 하겠다.

## 저 지 소 개



### 박완기(朴完基)

1957년 8월 21일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년-83년 금성전선(주) 입사. 1984년-88년 독일 아헨대 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학 고전압 연구소 연구원 근무. 1990년-94년 독일 다름슈타트대 졸업(박사). 1990년-94년 동 대학 고전압 연구소 근무. 1995년 독일 VDE 시험연구소 근무. 1995년 10월부터 LG전선(주) 전력연구실장. 주관심분야: 초고압 기술, 절연재료 기술.