

LS전선, 세계 초전도 케이블 시장을 주도하다!

박 승 기
LS전선 초전도프로젝트팀

1. 서 론

인류는 18세기 이후 2차례에 걸친 산업혁명을 바탕으로 인류의 기원 이후 이전까지의 모든 발전을 뛰어 넘는 눈부신 업적을 이루어 왔다. 이와 같은 산업혁명은 에너지와 통신 기술의 혁신과 조화에 그 근간을 두고 있다. 이러한 발전을 지속하기 위해 인류는 21세기 들어 또 한 번 산업혁명과 직면해 있다.

1차 산업혁명은 18세기 말 증기기관 발명을 통해 기존의 생체 에너지에 의존하는 산업 구조에서 탈피한 교통 운송의 혁명을 가져옴과 동시에 동력 기계의 활성화 및 경공업의 혁신적 발전을 이루어 냈으며, 2차 산업혁명은 19세기 말 제어 가능한 전기의 발견을 통한 전동기, 발전소, 내열기관, 과학 소재 등 중화학공업을 기반으로 하는 과학적, 기술적 발전을 일구어 근대 산업 구조의 근간을 마련하였다.

그러나 이와 같은 산업혁명에 의해 태초 이래 지구에 저장되어 있던 화석 에너지가 근 200여 년 만에 고갈되는 상황에 직면했으며, 더욱이 화석에너지의 남용에 따른 지구 온난화 위험 등 인류의 생존은 물론 지구의 생태계를 걱정해야 하는 상황에 이르렀다.

세계적인 행동주의 철학자인 제러미 리프킨 교수에 따르면 현재 인류는 화석 에너지에 의존하던 1, 2차 혁명을 막 지나, 20세기말 이후 시작된 3차 산업혁명의 시대에 살고 있다고 한다. 3차 산업 혁명은 재생 에너지 기술 및 인터넷을 통한 SNS 혁명 등의 통신 기술의 결합에 의한 탈 석유시대를 이끌고 있으며, 이는 현재 인류 스스로가 미래를 결정지을 수 있는 중요한 순간에 직면해 있음을 의미한다. 이러한 3차 산업 혁명의 핵심 명제인 신재생 에너지 발전 시스템 및 대규모 장거리 송전 시스템은 21세기 전력 분야의 화두인 스마트 그리드의 연장 선 상에 있으며, 이와 같은 인류의 중요한 역사적 발전의 교두보가 될 3차 산업 혁명의 실현을 위해 전력 전송

분야에서는 고효율, 저손실, 대용량, 장거리 송전을 위한 핵심 기술인 초전도 케이블 시스템이 세계적으로 각광을 받고 있다. 기존의 전력 전송 기술로는 외국의 경우 4~5%, 한국의 경우 2%의 에너지가 송전 중 사라지고 있으며, 이를 통화로 환산하면 연간 1조 2천 억원에 가까운 손실인 셈이다. 이러한 손실을 막을 수 있을 뿐만 아니라 대도시에서 추가 토목공사 없이 기존 관로 및 전력구를 활용하여 송전 용량을 증대시킬 수 있으며 중장기적인 측면에서 토지사용이 줄고, 낮은 운영 및 유지 보수비용으로 효율성을 높일 수 있는 차세대 송전 기술이 바로 초전도케이블 기술이다. 초전도 관련 기술은 선형 기술을 보유한 일부 국가들을 중심으로 1990년대부터 꾸준한 연구 개발이 진행되어 왔으며, 우리나라는 선두 국가들보다 20년 이상 늦게 뛰어 들었으나, 단 13여년의 각고의 노력 끝에 현재 선진 국가들과 어깨를 나란히 할 수 있는 기술과 제품을 보유하게 되었다.

본 기고에서는 한국의 초전도 케이블 시스템의 개발 성과 및 사업화 현황을 소개한다.

2. 초전도케이블시스템의 연구 개발

초전도 현상은 이미 100여 년 전에 발견되었으나, 그 현상에 관한 이론적 설명은 아직 완전하게 이루어지지 않았다. 초전도 역사의 시작은 1911년 네델란드 Leiden 대학의 카멜링 온네스 교수가 헬륨가스를 4.2K (-269°C)의 극저온 영역에서 액화하는 데 성공한 후 그 온도에서 수은의 전기 저항이 갑자기 0으로 떨어지는 것을 확인한 것이 그 시발점이 되었다. 그러나 당시 이러한 초전도 현상은 20K 이하의 극저온 영역에서만 그 현상이 발현되기 때문에 고가의 액체헬륨의 사용해야 했고, 이에 따르는 경제적 비용이 너무 커서 실용화의 큰 장벽에 막혀있었다. 이렇듯 담보

상태의 연구가 1980년대 중반까지 이어져 초전도 현상의 사업화가 지지부진한 가운데 역사적인 발견이 일어났다.

1986년 스위스의 IBM 연구소의 베드노르츠와 뮐러는 절연체로만 생각했던 세라믹 합성물 La-Ba-Cu-O가 35K에서 초전도성질을 가짐을 발견하였고, 이를 시점으로 고온초전도 물질의 발견이 가속화되었다. 베드노르츠와 뮐러의 이와 같은 업적은 그들에게 1987년 노벨물리학상 수상이라는 영광을 가져다주었으며, 이후 MRI (Magnetic Resonance Imaging, 자기공명장치) 등 장치가 개발되어 초전도 현상의 본격적 사업화 시대를 여는데 이바지 하였다. 이후 1990년대까지 임계온도가 각각 95K과 110K인 고온초전도체가 발견되었으며, 이와 같이 높은 임계온도에서 초전도 현상을 발현하는 고온초전도체들의 발견은 초전도가 산업 전반에 걸쳐 각광을 받게 되는 계기가 되었다.

고온초전도 선재의 가장 큰 실용적인 장점은 일정 온도 이하에서 구리도체와 같은 단면적을 통해 전기저항이 없이 수십 수백 배 이상의 전류를 흘릴 수 있는 높은 임계 전류밀도를 갖는다는 점이다. 현재 상용되는 구리선은 자체의 고유전기저항에 의한 열의 발생으로 흘릴 수 있는 최대전류가 제한을 받는다. 이러한 이유로 과거에 구리전선으로는 만들 수 없었던 고효율의 혁신적인 전력 응용기기를 고온초전도 선재를 이용하여 실용화할 수 있게 되었다.

90K 이상의 임계온도를 가지는 고온초전도체의 개발이 가속화됨에 따라 1990년대 이후부터 미국, 일본, 유럽을 중심으로 이를 적용한 초전도 전력기기 분야 연구가 급속한 발전을 거듭해왔다. 특히 동일 임계 온도 및 전류밀도 상에서 임계 자장 영역이 비교적 큰 초전도케이블과 한류기 분야는 초전도 전력기기의 사업화를 선도할 수 있는 제품으로 연구개발이 가장 활발하게 진행되었다.

초전도케이블시스템(그림1)은 초전도 케이블, 중간 및 단말 접속함, 초전도 케이블을 극저온상태로 유지시키기 위한 냉각시스템으로 구성되며 초전도 케이블(그림2)는 크게 포머, 초전도 선재, 도체층, 절연층, 차폐층, 극저온 용기, 자켓 등으로 구성된다.

우리나라의 경우, 정부의 지원 하에 2001년부터 산·학·연·관 공동으로 대규모 초전도케이블시스템 개발 사업이 시작되어 현재에 이르기 까지 연구 개발에 매진하고 있다.

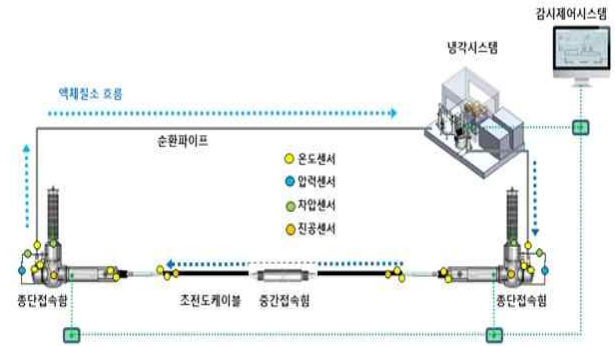


그림 1. 초전도케이블시스템의 구성.



그림 2. 초전도케이블의 구성.

우리나라 최초의 고온초전도 전력케이블 개발프로젝트는 교육과학기술부의 '21C 프론티어 연구개발 사업'의 일환으로 2001년부터 진행된 '차세대 초전도 응용기술 개발사업'으로서 한국전력, 한국전력연구원, 한국전기연구원, 한국기계연구원, 기초과학지원연구원, 대학 연구기관 및 LS전선과 같은 산업체들이 공동으로 참여하여 2011년까지 총 10년간 3단계로 나뉘어 진행되었다. 본 프로젝트의 1단계 사업을 통해 2004년 22.9kV 급 초전도 전력케이블을 개발하였으며, 이는 덴마크, 미국, 일본에 이은 4번째의 성과였다.

뒤 이은 2단계 사업의 성과로 2005년 일본에 이어 세계 2번째로 초전도케이블의 장기 실증테스트를 통과했으며, 초전도케이블 개발 이후 약 1년간 한국전기연구원과 공동으로 케이블의 기본 성능테스트와 이상 전압, 전류 상태에서의 장시간 통전 시험, 극저온과 상온 간의 온도 변화에 대한 제품의 구조적 이상 정도를 검증하는 열충격 시험 등으로 진행되었다.

당시 개발에 성공한 초전도케이블은 이상 전압에서도 안정적인 송전능력을 보유하고 있었으며, 기계적 이상으로 인한 극저온 냉매의

초전도 상용화 성과(초전도 관련회사) 특집

누설이나 전기적 문제 등이 전혀 발생하지 않아 장기 실증테스트를 통과할 수 있었다.

2007년에는 한전 고창시험센터에 22.9kV 50MVA 초전도케이블 100m와 중간접속함 제품을 설치하여 해외 공인시험을 완료하고, 캐나다 Kinetics로부터 인증을 받았다. 이는 세계 최초의 해외인증 시험으로 초전도 케이블 시험관련 국제규격이 미 제정된 상태에서, 자체적으로 초전도 케이블 평가 규격(안)을 정립하여 제3국 국제 공인 인증기관 및 IEC 위원회에 제안하는 등 초전도 케이블 관련 규격 제정의 활성화에 이바지 하였다.

본 프로젝트의 마지막 3단계에서는 2008년 제품의 신뢰성 확보를 위해 극저온 및 상온 상태에서의 제품 구조의 이상 정도를 검증하는 장기신뢰성 시험인 열충격시험을 총 6회 실시하였다. 케이블 수명을 30년으로 볼 때 상온 및 극저온간의 열충격 시 열수축/팽창에 의한 기계적 스트레스이 약 4회 정도 있을 것으로 예상된다. 이와 더불어 일반 케이블의 송전 용량의 4배에 달하는 AC154kV 1GVA급 대용량 초전도 케이블시스템의 개발에도 성공하였으며, 특히 세계 최고 전압급의 초전도 중간접속함 (Normal Joint) 개발에 성공하는 쾌거를 이루어 냈다.

또한 LS전선은 한국전력과 함께 '차세대 초전도 응용기술 개발사업' 성과 중 일부인 AC22.9kV 50MVA급 초전도케이블시스템의 실계통 실증 및 동일 전압에 기존 개발품의 3배에 달하는 송전용량을 가지는 150MVA급 시스템의 개발과 실계통 실증을 위한 두 번째 국책과제를 2008년부터 2013년까지 5년 간 진행하였다. 우선 AC22.9kV 50MVA급 시스템의 실계통 실증을 위해 그림 3과 같이 2010년 한국전력의 경기도 이천 변전소에 당시 배전급 세계 최장 선로 길이인 410m의 시스템이 설치되어 준공시험을 통과하였다.

특히 본 시스템의 준공은 여러 가지 큰 의미를 갖는다. 우선 앞서 소개한 바와 같이 실계통 실증에 적용된 시스템은 세계 최장 선로임과 동시에 세계 최초로 케이블 간을 연결하기 위한 3상일괄형 중간접속함이 설치 적용되었다. 또한 가장 주목할 만한 성과는 단일 제조사에서 케이블시스템을 비롯한 냉각시스템, 제어시스템 등을 일괄 납품, 설치하여 준공에 성공한 세계 최초의 사례였다는 것이다.

이와 같은 세계 최초의 시도들의 결과는 그

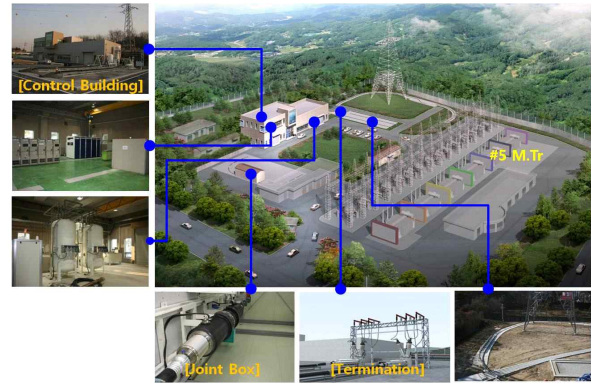


그림 3. AC22.9kV 50MVA 실증 시스템 구성.

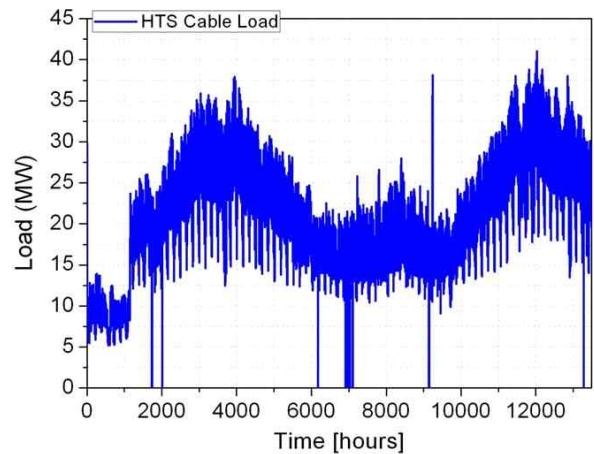


그림 4. AC22.9kV 50MVA급의 실증 부하 데이터.

림 4와 같은 20 여개월간 무사고 운전 실적을 바탕으로 우리나라의 기술력을 전 세계에 증명하는 계기가 되었으며, 특히 실증 기간 중 10개월간 무인화 운전에 성공함으로써 우리나라에서도 초전도케이블 상용화를 위한 본격적 첫 걸음을 내딛는 계기가 되었다.

현재는 산업통상자원부의 지원 하에 한국전력과 함께 '송전급 초전도 케이블 시스템 실계통 적용기술 기발' 사업을 2011년부터 수행 중에 있으며 2016년 완료될 예정이다. 본 사업은 DC80kV 500MW급과 AC154kV 600MVA급 초전도 케이블 시스템의 개발 및 실계통 실증을 목적으로 하고 있다. 이를 통해 LS전선은 2013년에 세계 최초로 직류(Direct Current) 초전도케이블시스템을 개발하여 형식시험 (Type Test)을 통과하였으며, 2014년 현재 실계통 적용을 위해 제주도 한림읍 금악리에 위치한 초전도 실증단지인 '초전도제주센터'에 500m 선로를 설치하였다.

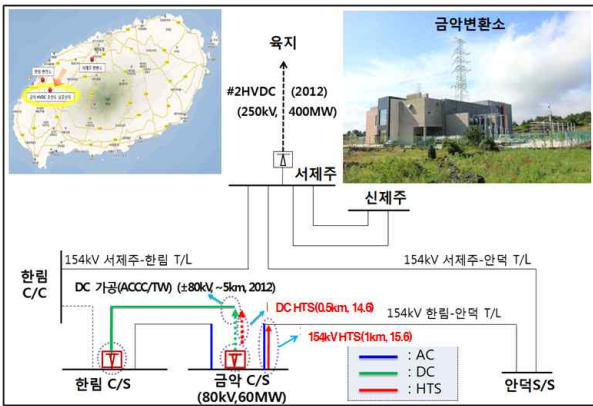


그림 5. 제주 초전도실증단지 계통 구성.

본 시스템은 2015년까지 DC80kV 가공선로 및 변환설비와 연결되어 12개월 동안 쌍극 (Bi-polar) 운전을 실시할 예정이다. 또한 현재 한국전력의 고창전력 시험센터에서 AC154kV 600MVA급 초전도 케이블시스템의 형식시험이 진행 중이며, 그림 5와 같이 2015년에 '초전도체주센터'에 송전급 세계 최장 길이인 1,000m의 선로를 직류 시스템과 직렬 연결되어 실계통 실증을 실시할 예정이다.

이와 같은 연구 개발의 노력을 통해 우리나라는 AC 송전급, 배전급은 물론 DC 초전도 케이블시스템의 기술력까지 확보한 세계 유일의 국가로서 국제적인 위상이 한층 높아질 것으로 예상된다.

3. 초전도케이블시스템의 사업화

초전도케이블시스템 기술은 세계적으로 한국, 미국, 일본, 프랑스 4개국 정도 국가가 선도하고 있는 고부가가치의 미래기술 분야이며, 전력 송전 분야 전반에 걸쳐 새로운 계통 연계 패러다임을 제시하고 있는 기술 중 하나로서 대용량 부하를 충족하기 위해 고효율로 안정적인 전력 공급을 할 수 있고, 나아가 전력 계통 간 대용량 송전 등에 핵심적 역할을 할 수 있는 미래 선도적 기술임에 틀림없다. 이와 같은 시장 매력도를 기반으로 BCC research, CRU 등 권위있는 전력시장 분석 기관들은 초전도케이블시스템이 2017년에 전 세계 전력케이블 시장의 0.2%, 2020년 0.5%, 2030년 5%의 시장을 점유할 것으로 예상하고 있다.

특히 대도시의 경우 급속한 부하 증대에 대응하기 위한 송, 배전 설비 증설이 절실하나 Nimby 현상 및 경과지 확보 불충분 등으로

인해 마땅한 해결책을 찾지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 계통 입지 상의 문제점을 최적으로 해결할 수 있는 솔루션 역시 초전도케이블시스템에서 찾을 수 있다.

이와 같은 계통 상의 당면 과제를 해결하기 위해 지난 20여 년간 분야를 선도했던 미국, 독일 등은 이미 2012년 이후 상용 사업화 단계에 진입해 있으며 특히 독일은 인구밀집지역에서 초고압케이블을 대체하는 10kV급 초전도케이블을 상용화한 AmpaCity 프로젝트를 론칭하였다. 우리나라 역시 AC22.9kV 50MVA급 시스템의 실계통 실증 성공 이후, 한국전력을 중심으로 상용 사업을 준비하고 있다. 또한 중국, 인도, 대만 등 상대적 후발 국가 들은 2018년 이후 급속한 시장 확대가 예상되는 초전도케이블시장 진입을 목적으로 자국 기업 육성하기 위해 관련 기반 기술 및 실증 실적을 단번에 확보할 수 있는 실증 사업을 강력히 추진하고 있다.

이와 같은 시장의 변화에 따라 현재 전 세계적으로 12개국에서 20여 개의 초전도케이블 시스템 구축 사업이 진행 또는 기획되고 있다. LS전선은 국내 초전도케이블시스템 상용사업 뿐만 아니라 50% 이상의 해외 초전도케이블 사업에 직, 간접적으로 관여하고 있으며, 2016년 전 세계 초전도 케이블 시장의 30% 이상 점유를 목표로 사업화에 매진하고 있다.

3차 산업혁명의 저자 재러미 리프킨이 “사람들을 일깨워 주십시오!. 미래에 눈뜰 수 있도록 말합니다.”라고 하며 전 세계인에게 새로운 에너지를 통한 협업의 시대로 나아가야 한다고 주창했듯이 LS전선이 13년간의 초전도케이블시스템의 개발과 실증 기간을 거쳐 세계 초전도 케이블 시장을 주도하며 지속가능한 에너지 창출의 시대적 변화를 이끌 주역임을 기대해 본다.

저자이력



박승기 (朴承起)

1988-1994년 서강대학교 경영학과, 2001-2003년 고려대학교 경영대학원 국제경영학. 1995년 LS전선(주) 입사, 전력사업부 및 전략기획부문 등을 거쳐 현재 영업본부 초전도 프로젝트팀 팀장.