

초전도 한류기 운영 현황과 전망



한옥배
한전 전력연구원 박사

1. 한류기와 초전도 한류기

전력선로에는 낙뢰, 단선, 합선 등 다양한 형태의 사고가 발생하는데, 사고 시 때로는 부하가 갑작스럽게 줄어들면서 큰 고장전류가 전력선로에 발생한다. 이 전류는 화재나 전력기기 파손을 야기하고, 전력 불균형을

초래할 수도 있다. 최악의 경우에는 전력 시스템이 붕괴되어 광역정전으로 이어진다. 이를 방지하기 위해 전력선에는 차단기가 설치되어 있어 고장전류를 차단하지만, 일정 시간을 필요로 하고 고장전류가 너무 크면 차단에 실패해서 고장이 급속하게 전파되기도 한다. 그러므로 차단기에 앞서 고장전류를 고속으로 제한하는

(혹은 한류하는) 장치가 필요한데, 이것이 초전도 한류기이다.

국내 전력계통을 보면, 급격한 경제성장에 맞추어 송배전 설비가 단시간에 대규모로 증설되었다. 때문에 송전선로가 짧은 것이 특징이며, 강력하게 Network화 되어 있어 전력 공급 유연성이 좋은 대신 고장전류는 증대되어 고장발생시의 문제는 더욱 심각해졌다. 이에 고장 전류 감소를 위하여 모선분리, 차단기 교체, 직렬 리액터 등이 설치되어 운용되고 있다. 고장 문제에 대한 근본적인 대책으로 한국전력공사와 LS산전은 공동으로 초전도 한류기(Superconducting FCL; SFCL) 개발을 진행해 왔다. 개발된 22.9 kV급 초전도 한류기는 전북 고창에 소재한 KEPCO PT Center에 설치하여 시험 운용하였고, 이를 바탕으로 2011년부터는 경기도 이천 변전소에서 시범적이지만 상업 운전될 예정이다.

초전도 한류기는 고장 시 발생하는 거대 고장전류를 고속으로 제한하는 기기로서, 고장 시에만 적정 임피던스를 발생시켜 고장전류를 제한한다. 전류 제한이 아주 빨라 고장 후 1/4주기 이내에 전류를 제한하는 특징이 있다. 그리고 자동으로 회복되어 반복 사용이 가능해야 한다.

초전도 한류기는 초전도체의 고유 성질, 일정 온도(임계온도, Tc) 및 전류(임계전류 Ic) 이하에서 저항 제로이면서, 통전전류가 Ic 이상으로 증대하면 자동적으로 초전도성을 잃고(quench 현상) 저항체로 변하여 선로에 임피던스를 투입한다(저항형 초전도 한류기). 이 방식과는 달리, 강력한 초전도 자석을 사용하여 변압기 철심을 포화시키고, 선로의 고장전류가 철심 포화를 풀면서 생기는 임피던스로 한류하는 방식도 있다(포화철심형 초전도 한류기). 이러한 동작은 재료의 본성이어서 오동작이 없고, 고속으로 이루어지므로 고장전류가 증가할 기회를 주지도 않는다. 즉, 초전도 한류기가 정상적으로 설치되고 있는 회로에서는 큰 고장전류가 원리적으로 존재할 수 없다. 이것이 선진국에서 초전도 한류기 개발 및 활용에 투자하는 이유이다.

2. 선진국 운영 현황

전 세계적으로 수많은 기관에서 다양한 방식으로 초전도 한류기를 개발하였으며, 현재도 꾸준히 다양한 시험들이 진행되고 있다. 일부는 초전도 한류기가 실제 상업운전 목적으로 발주되어 개발되기도 하였다.

표 1. 각국의 배급전 초전도 한류기 실계통 운전

설치 장소	한류기 개발자	정격 (kV/A)	운전 기간
독일 Nephth S/S, RWE 계통	Nexans SC	10 / 800	2004년 1년간
중국, Gaoxi S/S, Loudi시, 호남성	Innopower	10.5 / 1,500	2005년 ~ ?
중국, Puji S/S, 곤명시, 운남성	Innopower	35 / 1,500	2008년 2월 ~
미국 SCE Shandin S/S, LA교외	Zenergy Power	15 / 2,000	2009년 5월 ~
영국 Lancashire, Scottish Power	Nexans SC	12 / 100	2009년 5월 ~
독일 Boxberg, 발전소 소내	Nexans SC	12 / 800	2009년 12월 ~
한국 경기도 이천 변전소	KEPCO/LS산전	22.9 / 630	2011년 3월 ~
이태리 San Dionigi S/S, Milano	CESI RICERCA	9 / 1,000	2011년 설치/운전



실계통 시험 운용 중인 배전급 초전도 한류기

또한, 송전급 초전도 한류기도 개발되고 있으나, 아직 현장에 설치되어 있지는 않다. 기술적으로도 배전급 보다 어려운데, 극저온에서의 송전급 고전압 처리 기술, 대량의 초전도 한류소자 소요, 그를 수용하는 대형 냉각설비 및 가격 문제 등이 난관으로 꼽힌다. 대전류를 제한할 경우 발생하는 기계적 안정성 문제도 풀어야할 중요한 숙제 중 하나이다. 현재 세계적으로 미국 AMSC/Siemens팀과 영국 Zenergy Power팀 등에 의한 개발 계획만이 정상적으로 진행되고 있는데, 2012년이면 현장에 설치, 운영되는 것을 볼 수 있을 전망이다.

3. 국내 개발과 운영

국내에서 초전도 한류기 개발은 한국전력공사와 LS산전의 공동 작업으로 21세기 프론티어사업의 하나인 차세대 초전도 응용기술 개발사업의 지원을 받아 진행되었다. 초기 6.6 kV급을 개발하였고, 이어 국내 고유 모델로서 22.9 kV, 630 A, 3상 하이브리드 초전도 한류기를 개발하는데 성공하였다. 하이브리드 초전도 한

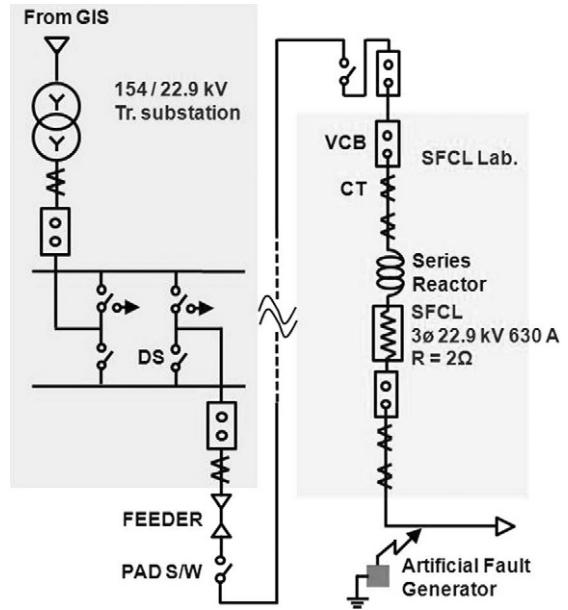
류기 방식은 초전도체와 기존 리액터를 고속스위치로 선를 변경하는 방식인데, 국내 전력선로에서 요구하는 장시간 한류, 재폐로 기능에 더하여 크기를 축소시킨 것이 특징이다. 실제로 국내에서 개발된 22.9 kV, 3,000A급 하이브리드 초전도 한류기는 154 kV 변압기의 2차측 보호용인데, 재폐로 기능에다 한류시간 1.5초를 유지하면서도 크기가 폭 1.2m × 길이 2.4m × 높이 2.5m로서 GIS 2개의 공간에 수납된다. 이는 국내 옥내변전소의 협소한 공간을 고려한 것이다.

이렇게 개발된 초전도 한류기를 한국전력공사의 고창 소재 KEPCO PT Center에 설치하여 1년 이상 무인 운전하였다. 이 운전의 목적은 현장에 설치될 경우, 경험하게 될 많은 상황을 상정한 것이다. 이 과정에서 장기운전 노하우, 초전도체 교체, 정전 시 온도유지방안 등 노하우 습득과 다른 보호기기와의 협조 등이 연구되었다.

초전도 한류기 개발의 최종 목적은 상업 운전을 통해 계통의 전력공급 신뢰도를 향상시키는 것이다. 그 첫걸음이 경기도 이천 변전소에서 시작되고 있다. 2010년에

22.9 kV, 630A급 초전도 한류기가 전력선로 보호용으로 이미 설치되어 자체 시험 운전을 시작하였다. 2011년 봄 이면 이 한류기는 실제 전력을 공급하는 선로 보호용으로 운영될 예정이다. 이는 선진국에 비해 1~2년 정도 늦은

것이지만, 장시간 한류 및 재폐로 기능, 소형화, 비용 절감 등 기술진보를 포함하고 있으므로 국내의 초전도 한류기 기술은 세계 수준으로 보아도 손색이 없다. KEA



실증시험 중인 초전도 한류기와 시험 선로