2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

실계통 적용을 위한 22.9kV, 50MVA, 초전도케이블 설치 및 운전 시험

손송호*, 양형석*, 임지현*, 오승열*, 이수길**, 장현만**, 황시돌*
한전 전력연구원*, LS전선 (주)**

Installation and Operation Test of a 22.9kV, 50MVA, HTS Cable for Real Utility Grid Application

Song-Ho Sohn*, Hyung-Suk Yang*, Ji-Hyun Lim*, Seung-Ryle Oh*, Su-Kil Lee**, Hyun-Man Jang**, Si-Dole Hwang*
KEPCO Research Institute*, LS Cable**

Abstract - Since the year 2008, the first demonstration project of the superconducting cable for the KEPCO grid operation has been in progress. To apply the HTS (High Temperature Superconducting) cable system into the commercial network, a new test complex was built in the 154kV Icheon substation and the on site assembly of 22.9kV, 50MVA HTS cable with the cryogenic refrigeration system was finished. A full scale of HTS cable fabricated with 2nd generation wire is to be in service in KEPCO network. In this paper, a series of processes of the installation and operation test are introduced.

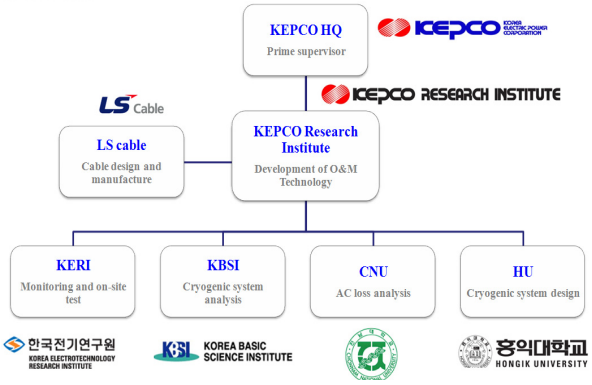
1. 서 론

사용의 편리성과 더불어 비정상적 가격 구조로 인해 기존 에너지원에서 전력에 대한 전환수요는 지속적으로 증가하고 있는 반면에 수급 안정을 위한 전력공급 설비 확충은 점차 어려워지고 있다. 한전은 발전설비와 송변전설비 확충 계획의 연계성을 강화하고 송전선로 경과지를 사전에 확보하기 위해 많은 노력을 기울이고 있으나 경과지 주민의 민원이 심화되고 있어 전력수급 안정성을 확보하는데 어려움을 겪고 있다. 따라서 자원의 효율적인 활용을 위해 확보한 경과지내 대용량 송전을 위한 고전적인 기술로 전압격상을 통해 대용량 송전을 구현해왔으나 지속적인 민원으로 인해 고전압 대용량 송전기술의 적용은 한계에 이르렀다. 이를 해결하게 위해 대도체 케이블, GIL(Gas Insulated Transmission Line), HVDC 케이블등의 대체 기술이 검토되어 적용되고 있으나 경제성, 환경적 요인등의 기술적 문제로 인해 전면적인 도입은 어려운 실정이다. 초전도케이블은 대용량 송전이 가능하고 친환경적인 장점을 가지고 있어 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있으며 일부 기술 선진국에서 실계통에 연계, 성공적으로 운영되고 있다[1]-[2]. 본 논문에서는 한전과 LS전선이 공동으로 국내 최초로 실제 전력계통에 연계하여 상업 운전 예정인 22.9kV, 50MVA급 초전도케이블의 설치 및 냉각 운전 시험에 관한 내용을 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 이천변전소 초전도케이블 시범사업 개요

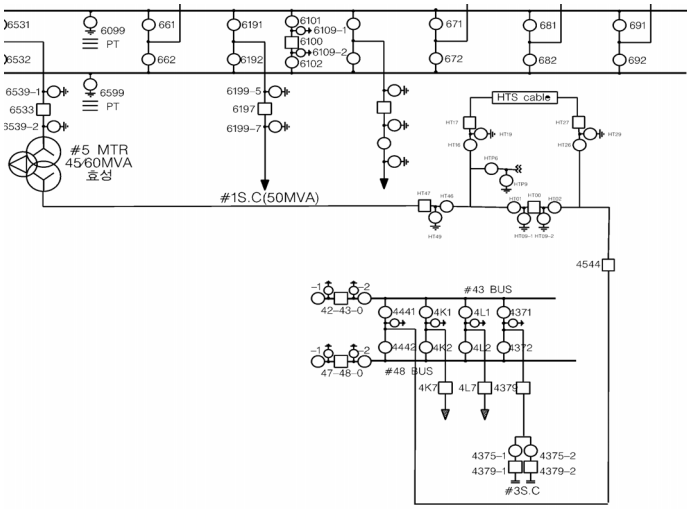
초전도케이블 시범사업은 2008년 10월 지식경제부 전력산업기술개발과제로 출범하여 한전 전력연구원이 주관기관으로, 참여기업으로는 한국전력공사와 LS전선, 기타 한국전기연구원, 한국기초과학지원연구원, 전남대학교, 홍익대 등이 기초연구를 위한 위탁연구기관으로 참여하고 있다. 그림 1에 참여기관 및 각 기관의 연구내용을 정리하였다.



<그림 1> 연구 참여기관 및 각 기관의 연구내용

2.1.1. 실계통 적용 개소 및 계통 구성

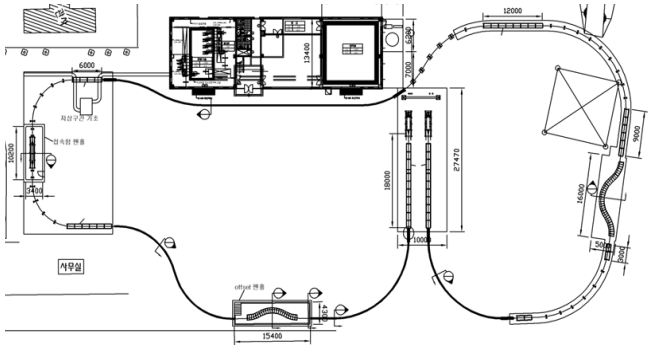
본 시범사업의 목표는 한전 계통 내 초전도케이블을 병입하고 그 성능 및 운영 특성을 파악하고자 하는데 있다. 다양한 포설조건의 모의 및 냉각시스템 설치 공간의 확보가 가능한 한전 경기본부 산하의 이천변전소를 410m급 초전도케이블 시스템의 최적의 설치장소로 선택하였다. bus분리·연계 공사의 용이성, 냉각 및 제어실 위치 등을 고려하여 154kV/22.9kV 5번 bank 2차측에 초전도케이블을 연결하고 비상시 수용가에 영향이 없도록 bypass 운전이 가능하도록 그림 2와 같이 계통을 구성하였다.



<그림 2> 이천변전소 초전도케이블 계통 단선도

2.1.2. 초전도케이블 포설 루트 설계 및 시공

초전도케이블의 포설 루트는 케이블의 길이를 고려 접속함, 단말, 관로, 지하 전력구, 지상옹벽 클리트, 수평 스네이크 포설을 모두 모의 할 수 있도록 설계·시공하였다. 케이블은 장조장(267m) 및 단조장(150m)으로 2차례에 걸쳐 분리 포설하였으며 포설 장력은 300kg/cm^{2}이하, 포설속도는 분당 5m로 포설을 완료하였다. 그림 3에 최종적인 포설 구성을 도시하였다.



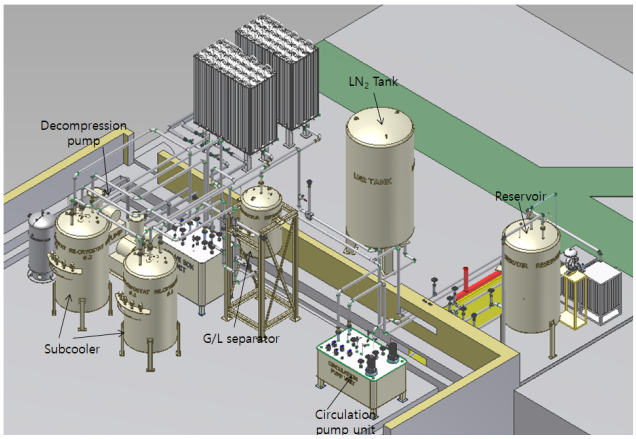
<그림 3> 이천변전소 초전도케이블 포설 layout 구성도

2.2 초전도케이블 운전 시험

초전도케이블을 운영하기 위해서는 케이블, 단말, 냉각시스템을 포함한 전체 초전도케이블 시스템의 냉각부하에 따라 77K이하로 유지 가능한 냉각시스템이 필수적이다. 또한 실제 전력계통에서 연속적으로 안정적인 운전이 가능해야 하므로 contingency plan에 주안점이 두어졌다. 상시 운전시 1기의 증발식 냉각시스템(과냉기(subcooler)+감압식 펌프)이 전체 냉각부하를 감당하고 보수 유지가 필요할 경우 병렬로 설치된 과냉기 및 감압펌프로 대체할 수 있도록 설계하였다. 초전도케이블 냉각시스템의 규격 및 구성을 표 1 및 그림 4에 정리하였다.

<표 1> 냉각시스템 사양

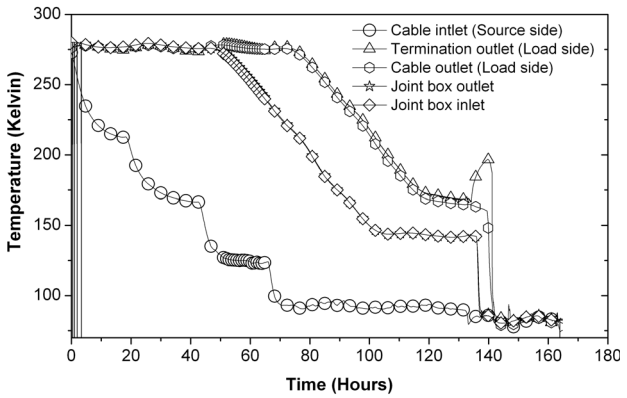
Item	Specification
냉각시스템 방식	증발식 (Open loop)
냉각 용량	10kW (설계치)
운전 온도	69K (케이블 입구 온도)
운전 압력	3 bar이상 (케이블 출구 온도)
냉매	액체질소
운전 유량	0.5 kg/sec
열손실 (@77K)	4.76kW(설계치)
Back-up 시스템	감압 펌프 2기 순환 펌프 2기 과냉기 (Subcooler) 2기



<그림 4> 초전도케이블 냉각시스템

2.2.1 초전도케이블 초기 냉각 운전

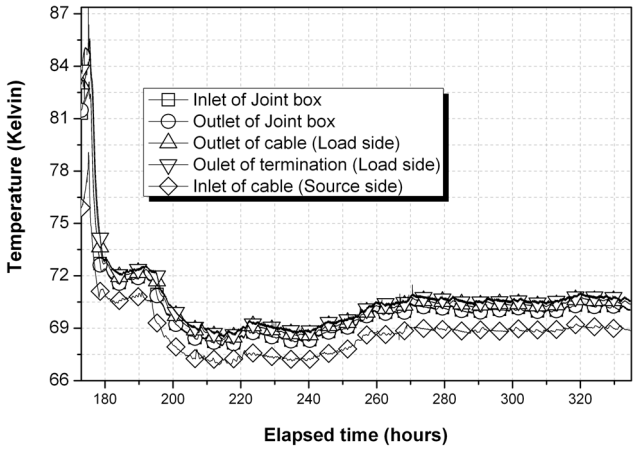
초전도케이블에 열충격을 최소화기 위하여 액체질소로 직접 냉각하는 대신에 기체질소로 온도 구배를 천천히 주는 방식으로 냉각을 진행하였다. 초기 냉각은 precooler 출구단을 기준으로 200K, 150K. 100K, 80K의 기체질소 및 80K의 액체질소로 케이블을 냉각하는 5단계로 이루어졌으며 총 150시간이 소요되었다. 그림 5는 초기 냉각시의 초전도케이블 온도 변화로 케이블 길이방향으로 열용량이 크기 때문에 케이블 출구쪽 온도 응답이 느린 것을 알 수 있다.



<그림 5> 초전도케이블 초기 냉각 온도 변화

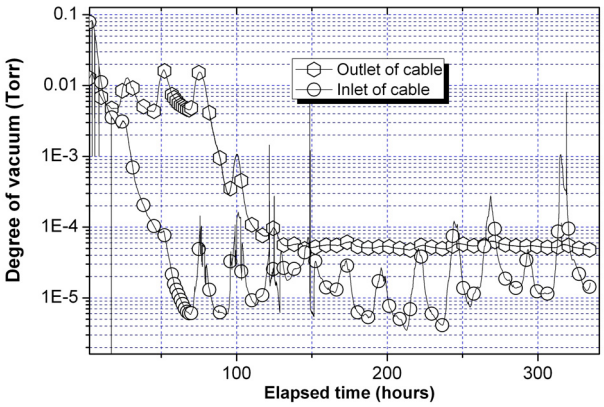
2.2.2 초전도케이블 순환 냉각 운전

초전도케이블을 운전온도인 69K (입구온도 기준)로 유지하기 위해 감압펌프를 이용 과냉기에서 열교환이 발생 운전 온도를 유지하는 방식으로 순환 냉각을 시켰다. 그림 6은 69K 무부하 순환 냉각시 온도 변화 그래프로 운전 유량은 약 0.5kg/sec, 케이블 입·출구 압력 손실은 약 0.7bar, 전체 시스템 압력 손실은 약 1.9bar이다. 냉각시스템, 단말, 초전도케이블의 전체 열 손실은 Calorimetric 법을 사용하여 측정하였다. 측정 결과 무부하시 전체 3kW의 열손실을 가지는 것으로 측정되었다.



<그림 6> 초전도케이블 순환 냉각 온도 변화

그림 7은 초기 냉각부터 69K 순환 냉각 케이블의 진공도 변화이다. 초전도케이블의 진공도는 케이블의 단열성능 및 운영비용과 깊은 관계가 있으므로 운영기술 측면에서 중요한 의미를 가진다. 냉각이 진행되면서 10^{-2}Torr부터 10^{-5}~10^{-6}Torr영역까지 진공도가 개선되는 것을 알 수 있다. 이는 냉각이 진행되면서 케이블 내에 분자들이 cryostat표면에 흡착되는 현상에 의한 것이다. 케이블 입구쪽의 진공도가 상대적으로 요동치는 이유는 복사열에 의한 것으로 출구쪽 케이블에 비해 상대적으로 대기 노출면이 많은 것이 원인으로 추정된다.



<그림 7> 초전도케이블 진공도 변화

3. 결 론

본 논문에서는 22.9kV, 50MVA급 초전도케이블 시스템 설치 및 냉각 운전 결과를 정리하여 기술하였다. 국내 최초로 22.9kV 초전도케이블의 실계통 적용을 위한 실증 시범 사업이 한전 전력계통내에서 진행 중으로 대용량 전력기기로서의 신뢰성과 운전 성능을 확인하고자 410m급의 초전도케이블과 냉각시스템 및 제어시스템을 이천변전소에 설치 완료하였다. 설치 후 초전도케이블을 냉각하여 순환 냉각 상태 검증 및 무부하에서 3kW의 냉각손실을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Maguire et al., “STATUS AND PROGRESS OF A FAULT CURRENT LIMITING HTS CABLE TO BE INSTALLED IN THE CON EDISON GRID”, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 1218, pp. 445-452, 2010

[2] J. Maguire et al., "Installation and Testing Results of Long Island Transmission Level HTS Cable", Applied Superconductivity, IEEE Transactions on, Vol. 19, pp.1692-1697, 2009