

22.9 kV 초전도케이블 시스템의 통전특성

손승호*, 임지현*, 류희석**, 양형석***, 최하옥***, 마용호****, 김동락***, 류경우****, 성태현*, 현옥배*, 임성우*, 황시돌*
 한전 전력연구원*, 한국전기연구원**, 한국기초과학지원연구원***, 전남대학교****

Current Transport Characteristics of 22.9 kV High Temperature Superconducting Cable System

S. H. Sohn*, J. H. Lim*, H. S. Ryoo**, H. S. Yang***, H. O. Choi***, Y. H. Ma****, D. L. Kim***, T. H. Sung*, O. B. Hyun*,
 S. W. Lim*, K. W. Ryu****, S. D. Hwang*
 KEPRI*, KERI**, KBSI***, CNU****

Abstract - Enhanced performances of high temperature superconducting (HTS) cable attract tremendous interests of the power utility. However, the reliability issue as the power system is still in controversy. To verify the reliability of HTS cable, 22.9 kV HTS cable system with the specification of 100 m length, 50 MVA capacity, and open refrigeration cooling system was laid on Gochang power testing center of KEPCO in 2006. During the test period, the current transport characteristics, the fundamental function of power cable, have been monitored and investigated precisely. In this paper, the heat loss and AC loss measured at various current load conditions are described and discussed.



〈그림 1〉 초전도케이블 시스템 전원측 단말 전경

1. 서 론

IT산업 및 서비스업 등 전력 저소비 산업으로 국내 산업구조가 재편되면서 전력 수요 증가율이 90년대에 비해 감소하였으나 2000년대에 들어서도 전력수요 증가율은 경제성장률을 상회하여 증가하고 있다. 또한 중앙 및 지방정부 차원의 혁신도시, 신도시 구축, 산업단지 육성 등으로 전력인프라 구축에 대한 수요 증가가 불가피하여 전력시설 확충에 대한 필요가 나날이 높아져 가고 있다. 특히 도심의 경우 리모델링 및 건물의 고층화등으로 전력수요가 계속 증가하고 있으나 전력시설이 도심미관을 저해한다는 민원증가에 따라 전력시설 확충에 어려움을 겪고 있는 상황이다. 따라서 이에 대한 해결책으로 대용량 지중송전이 각광을 받고 있으나 막대한 건설비용 및 케이블의 열간섭으로 인한 송전용량의 저하, 토양온도의 증가, 절연유로 인한 토양오염 및 화재의 가능성 등 해결해야 할 현안들이 산재해 있다. 초전도케이블을 지중송전에 적용하면 초기투자 비용이 높으나 저전압으로 대용량 송전이 가능하여 변압기 등의 부대시설 투자비를 감소시킬 수 있으며 환경친화적이고 계통의 혼잡비용을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 맥락에서 미국, 일본등의 기술선진국에서 초전도케이블의 실계통 적용을 위한 프로젝트가 진행되고 있으며 2008년 4월 22일 Long island에서 138 [kV], 574[MVA]용량의 초전도케이블 시스템이 운전을 시작하면서 DOE주관의 미국내 3대 프로젝트[1-3]가 모두 가압에 성공하는 등의 고무적인 성과를 보이고 있다. 국내에서는 한전과 LS전선이 각각 한전고창전력시험센터에 22.9[kV], 50[MVA] 용량의 100[m]급 초전도케이블 시스템을 설치, 장기운전 시험중에 있으며 154[kV]송전급 초전도케이블 프로젝트가 2007년부터 시작되었다. 본 논문에서는 2006년 이후 약 2년간 장기실증시험 중인 한전 초전도케이블의 정격운전시의 열손실, 교류손실 및 차폐층의 유도전류비등의 통전특성과 전류변동에 따른 통전특성 시험결과를 소개하고 평가하고자 한다.



〈그림 2〉 증발식 냉각시스템

초전도케이블을 운전온도 66.4[K]로 냉각 후 전류를 변동(무부하, 800 [A], 1000[A], 1100[A])시키며 케이블 시스템의 온도 변화가 안정화된 것을 확인하였다. 열손실 측정은 steady state calorimeter법[4]을 사용 케이블 시스템 각 위치에 붙어있는 T-type열전대로부터 얻어진 온도와 유량값을 이용하여 열손실을 계산하였고 무통전시와 전류변동시의 열손실 차이로부터 교류손실을 계산하였다. 전류 변동시 유도되는 차폐층의 전류값과 도체의 전류값은 각 상별, 로고스키 코일로부터 측정하여 유도전류비를 얻을 수 있었다.

2. 실 험

2.1 초전도케이블 시스템 규격 및 실험 방법

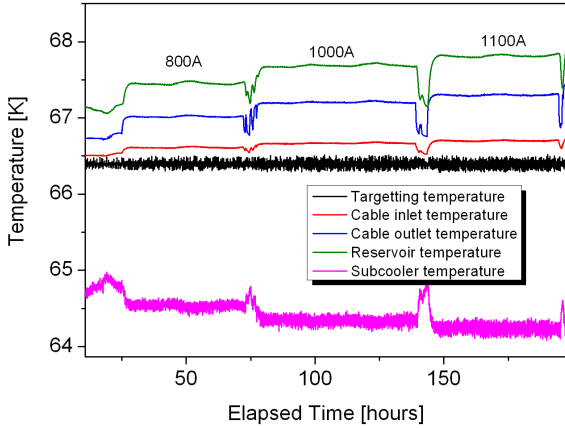
〈그림 1〉은 한전 전력연구원에서 운영중인 초전도케이블 시스템의 전원측 단말의 전경으로 기존 22.9[kV]배전급 케이블 용량의 5배인 50[MVA] 송전이 가능하며 액체질소 기포에 의한 절연과피를 억제하기 위해 과냉각 액체질소를 순환펌프로 순환시켜 통전시 전류리드 및 접속 부등에서 발생하는 주열[Joule]열을 제거하고 운전온도를 유지하는 〈그림 2〉와 같은 증발식 냉각시스템을 사용하고 있다. 증발식 냉각시스템은 냉동기를 사용하지 않고 Subcooler 출구 온도를 기준으로 목표값을 루츠식 진공펌프를 사용 압력을 낮춰 운전온도를 제어하는 방식의 증발식 냉각시스템을 사용하고 있으며 Subcooler, Reservoir, 진공펌프 2기, 순환펌프, 유속측정계, 기액분리기 등으로 구성되어 있다. 〈표 1〉에 초전도케이블 시스템의 전기적·물리적 규격을 정리하였다.

〈표 1〉 초전도케이블 시스템 규격

Item	Specification
정격전압	22.9 kV
정격전류	1250 A
길이	100 m
상수	3 상
절연방식	저온절연 (지절연 PPLP)
포설반경	5 m
케이블 외경	130 mm
냉각시스템	증발식
운전온도	66~77 K
최대운전압력	0.5 MPa

2.2 결과 및 검토.

<그림 3>은 800[A]에서 1100[A]까지 전류 변동시의 케이블 입구 및 출구, reservoir, subcooler의 온도 변화이다. 전류를 인가함에 따라 교류손실 및 외부 열침입에 의해 케이블 입구 및 출구의 온도가 증가하게 되고 케이블을 순환하고 reservoir에 모인 액체질소는 subcooler내에서 포화증기압 상태의 액체질소와 열교환을 일으켜 재순환하게 되어 시험기간 중 목표 온도값은 66.4[K]으로 일정하게 유지되고 있다.

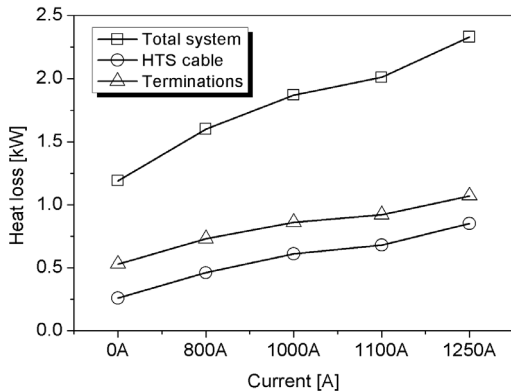


<그림 3> 전류변동에 따른 초전도케이블의 온도변화

초전도케이블의 초전도선은 자성체로 통전시 히스테리시스 손실이 발생하며 층구조, 권선각, 선재의 껍등에 의해 자계특성이 달라진다. 또한 케이블내에 복잡한 구조의 도체설계에 의해 서로간의 자계간섭 현상이 발생하게 되어 교류손실이 증가하게 된다. 이러한 도체에 의한 자계를 상쇄시키기 위해 초전도체로 차폐층을 구성하여 차폐층에도 180도 위상 차이가 나는 동일한 값의 전류를 유도, 자계를 상쇄시키도록 한다. <표 2>는 800[A]에서 1250[A]까지 전류 변동시의 차폐층에 유도되는 전류값 및 유도 전류비이다. 각 상별로 약 90~95%의 유도 전류비를 보이고 있다.

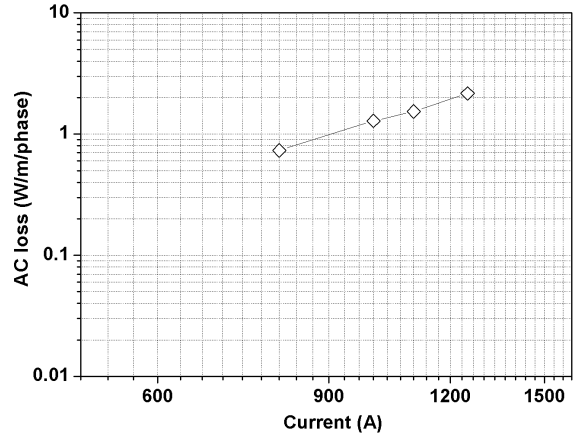
<표 2> 초전도케이블 차폐층 유도 전류비

시험조건		유도전류값[A]	유도전류비[%]
800A 인가	A상 차폐층	758~785	92.9~94.5
	B상 차폐층	762~731	90.2~91.8
	C상 차폐층	750~722	89.8~90.9
1000A 인가	A상 차폐층	959~979	93.7~94.5
	B상 차폐층	931~958	91.1~92
	C상 차폐층	920~938	90.5~91
1100A 인가	A상 차폐층	1021~1042	93.8~94.2
	B상 차폐층	1003~1021	91.1~91.8
	C상 차폐층	993~1012	90.4~90.7
1250A 인가	A상 차폐층	1194~1159	93.5~94.6
	B상 차폐층	1119~1165	90.6~92.6
	C상 차폐층	1114~1152	89.9~91.1



<그림 4> 전류변동에 따른 초전도케이블의 열손실 변화

상전압 13.2[kV]를 계속 인가하면서 0[A]에서 800[A], 1000[A], 1100[A], 1250[A]까지 전류 변동시의 초전도케이블 시스템의 열손실 변화를 <그림 4>에 나타내었다. 무부하시 냉각시스템을 포함한 전체케이블 시스템의 열손실은 1.19[kW], 전원측 및 부하측 단말은 0.53[kW], 케이블은 0.26[kW]이나 1250[A] 정격전류 인가시에는 전체 시스템 2.33[kW], 단말 1.07[kW], 케이블은 0.85[kW]로 증가하게 된다.



<그림 5> 초전도케이블의 전류변동에 따른 교류손실값

<그림 5>는 온도 66.4[K], 3[kPa]의 압력에서 유량 40[L/min]에서 운전 중인 초전도케이블의 열 손실값을 이용하여 측정된 교류손실 변화 그래프이다. 정격전류 1250[A]에서 교류손실은 2.16[W/m·phase]로 800[A]인가시 0.73[W/m·phase]의 값에 비해 급격히 증가함을 알 수 있다.

3. 결 론

2006년 6월 26일부로 개정된 전기공급 약관에 의해 22.9[kV]의 공급한도가 40,000[kW]로 상향조정되어 전력계통에 초전도케이블을 적용할 시에 전력손실 및 계통혼잡비용을 감소시킬 수 있어 배전급 초전도케이블의 적용가능성에 대해서도 시장우호적인 여건이다. 한전 전력연구원 초전도그룹은 한국전력공사 고장전력시험센터에서 삼상, 22.9[kV], 50[MVA]용량의 초전도케이블 시스템을 장기 실증시험 중에 있으며 본 논문에서는 전류 변동시와 정격전류 인가시의 열손실, 교류손실변화, 차폐층 유도전류와 같은 초전도케이블의 통전특성 시험을 수행하였다. 시험결과 1000[A]기준 교류손실이 1.28[W/m·phase]로 상전도 케이블이 수십[W/m·phase]인데 비해 교류손실이 매우 작다는 것을 알 수 있다. 그러나 전류가 커짐에 따라 교류손실의 영향에 의해 케이블의 열손실 증가 기류기가 급해져서 무부하시와 비교 약 3.3배로 열손실이 증가하게 된다. 실제 전력계통에 초전도케이블 적용하기 위해서 수 km 길이의 케이블이 필요하므로 냉각시스템 부하를 최소화, 경제성을 확보하기 위해서는 교류손실 저감을 위한 설계기술이 중요함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 시행한 전력산업연구개발사업 연구과제인 “22.9[kV] 초전도케이블 설계용 최적 운전조건 연구”의 연구지원에 의한 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Weber C. S, “Testing and demonstration results of the 350 m long HTS cable system installed in Albany NY”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.17, 2038-2042, 2007
- [2] Demko J. A, “Triaxial HTS cable for the AEP Bixby project”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.17, 2047-2050, 2007
- [3] Maguire J. F, “Development and demonstration of a long length HTS cable to operate in the long power authority transmission grid”, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.15, 1787-1792, 2005
- [4] M. Yagi, “Measurement of AC loss in an HTS conductor by calorimetric method”, Physica C, , 392-396, 2003