

22.9kV, 50MVA급 초전도 전력케이블 DC Ic 측정에 관한 연구

The study on the DC Ic measurement in the 22.9kV, 50MVA HTS power cable

최석진¹, 이상진^{1*}, 심기덕², 조전욱², 장현만³, 이수길³, 손승호⁴, 황시돌⁴

S.J. Choi¹, S.J. Lee^{1*}, K.D. Sim², J.W. Cho², H.M. Jang³, S.K. Lee³,
S.H. Sohn⁴, S.D. Hwang⁴

Abstract: 22.9kV 50MVA HTS power cable has been developed and tested by Korea Electrotechnology Research Institute and LS Cable Company and it was supported by a grant from Center for Applied Superconductivity Technology of the 21st Century Frontier R&D Program. In this paper, DC Ic of 100m HTS cable which is installed at Kochang testing station was measured and analyzed. A measurement technique of DC Ic used by resistance and inductance removal method is established.

Key Words: HTS transmission power cable, DC Ic, measurement technique, resistance removal, inductance removal.

1. 서 론

고온초전도 전력케이블은 기존 케이블의 구리 도체 대신 고온초전도 도체를 사용하여 전기저항이 없어지는 초전도현상을 이용하여 저손실·대용량 전력수송이 가능한 전력케이블로서 대도시의 전력공급 문제를 해결할 수 있는 환경친화적 신개념의 전력케이블이다. [1, 2] 또한 종래의 전력케이블에 비해 초전도 전력케이블은 765kV나 345kV의 초고압이 아닌 154kV 또는 22.9kV 정도의 전압으로 대용량 송전이 가능하기 때문에 종래 변전소의 고전압송전을 위한 주변기기를 간략화시킬 수 있으며, 송전손실이 극히 작고 compact한 케이블에 의해 부지 문제를 해결할 수 있다. 최근 임계전류가 높고 기계적 특성이 크게 개선된 고온 초전도 선재가 개발됨에 따라 이를 응용한 고온초전도 전력케이블의 개발연구가 활발해지고 있다. 미국, 유럽 및 일본에서는 케이블을 개발하여 시험 중이며, 우리나라에서도 21세기 프론티어 사업의 일환으로 22.9kV 급 고온 초전도 케이블을 한국전기연구원과 LS 전선(주)이 공동으로 개발중에 있으며, 현재 고창에 있는 한전실증시험장에서 100m의 22.9kV, 50MVA급 초전도 전력케이블을 설치하고 시험 운전중에 있다. 초전도 케이블의 개발 및 실제 계통에 적용을 위해서는 임계전류특성, 교류 손실, 냉각시스템, 절연시험 등 여러 가지 시험을 거쳐야 한다[3].

2. 본 론

본 논문에서는 고창에 설치된 100m급 케이블의 DC Ic를 현장에서 측정하고 획득된 데이터를 분석하였다. 케이블의 DC Ic 측정은 다음과 같이 하였다. 먼저 2개의 상을 서로 직렬로 연결하여 전류를 통전시키며, 2000A까지 하나의 전원으로 전류를 인가하고, 다른 하나의 전원으로 추가의 전류를 공급하였다. 이 상태에서 전압을 측정하고 측정된 전압에서 전류리드의 저항부분, 인덕턴스 부분을 제거하여 순수한 V-I 곡선을 얻었다. 실험과 분석을 통하여 실제 케이블에서의 저항제거, 인덕턴스(성분) 제거 등의 DC Ic를 측정하는 기법을 확립하였다.

초전도전력케이블 시스템은 일반적으로 다음과 같은 구조를 가지게 된다. 먼저 여러 층으로 이루어진 전력 전송을 위한 초전도코어, 사고 발생시 전송전류를 바이패스 시키는 안정화재, 그리고 최외각의 절소 및 진공을 위한 2층의 저온용기로 이루어진다. 초전도 케이블 시스템의 구조 및 형상은 그림 1과 그림 2에 나타나 있다.

초전도의 특성상 임계전류는 초전도 기기의 설계와 제작에 중요한 요소로 작용한다. 초전도 선재의 임계전류 측정은 초전도 선재에 전압탭을 부착하여 측정이 가능하지만, 초전도 선재의 임계전류 측정만으로 초전도케이블의 임계전류를 계산하거나 유추하는 것은 매우 어렵다. 초전도 케이블의 포설과정에서 초전도 케이블의 손상 등이 발생할 수 있기 때문이다. 따라서, 초전도 선재로 구성된 초전도 케이블의 경우 시스템을 구성한 후 임계전류를 측정해야만 한다.

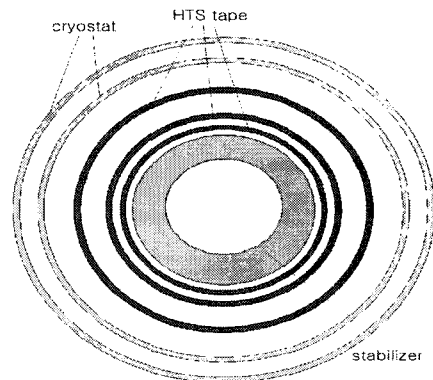


Fig. 1. A cut-view of HTS power cable system.

¹정 회 원 : 위덕대학교 에너지전기공학부

²정 회 원 : 한국전기연구원 초전도기기연구그룹

³정 회 원 : LS 전선(주) 중앙연구소

⁴정 회 원 : 전력연구원 신에너지그룹

*교신저자 : sjlee@viro.uiduk.ac.kr

원고접수 : 2008년 01월 10일

심사완료 : 2008년 02월 21일

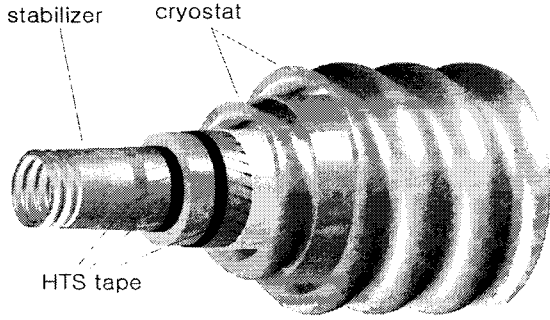


Fig. 2. A structure of HTS power cable system.

2.1. 실험방법

그림 3은 100m급 케이블의 등가회로도를 나타내며, 표 1은 등가회로도에서 각 구성요소의 설명이다. 실험 방법은 2개의 상을 서로 직렬로 연결하여 전류를 통전한다. 전류는 초당 100A 정도로 선형 증가시키며, 전원

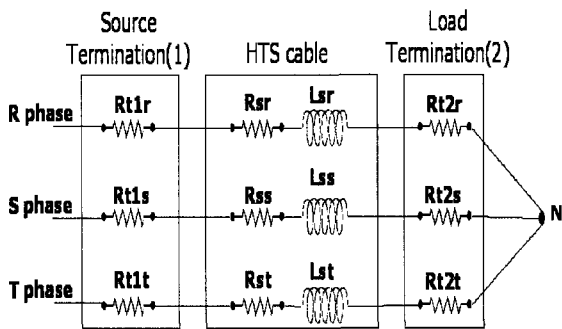


Fig. 3. The equivalence circuit of 100m HTS cable.

Table 1. The component of circuit

			Comments
Source termination	Rt1r	Resistance of termination 1. R phase	Almost resistance comes from current leads
	Rt1s	Resistance of termination 1. S phase	
	Rt1t	Resistance of termination 1. T phase	
HTS cable	Rsr	Resistance of HTS cable, R phase	Joint resistance
	Rss	Resistance of HTS cable, S phase	
	Rst	Resistance of HTS cable, T phase	
	Lsr	Inductance of HTS cable, R phase	Each phase perfectly shielded. No mutual inductance exist among phases
	Lss	Inductance of HTS cable, S phase	
Lst	Inductance of HTS cable, T phase		
Load termination	Rt2r	Resistance of termination 2. R phase	Almost resistance comes from current leads
	Rt2s	Resistance of termination 2. S phase	
	Rt2t	Resistance of termination 2. T phase	
Others	N	Neutral point	

장치의 구성상 2000A 근처까지 하나의 전원 장치로 전류를 인가하고 전류 hold 상태에서 다른 하나의 전원 장치를 사용하여 추가의 전류를 공급한다. SCXI를 사용하여 전압을 측정하고 측정된 전압에서 전류리드의 저항부분, 인덕턴스 부분을 제거하여 순수한 V-I 곡선을 얻는다. V-I 곡선에서 케이블 길이를 고려하여 기준(1uV/cm)에 따라 Ic를 계산하며, 케이블 온도 72K와 75K에 대해 반복하여 Ic를 측정한다. 그림 4는 측정 장치 구성을 의미하며, 그림 5는 측정된 데이터의 후처리 과정을 나타낸다. 그림 5의 과정을 거쳐 그림 6, 7과 같은 V-I 곡선을 얻게 된다. 그림 6은 72K에서의 고온초전도 케이블의 V-I 곡선이며, 그림 7은 72K에서의 고온초전도 케이블의 V-I 곡선이다.

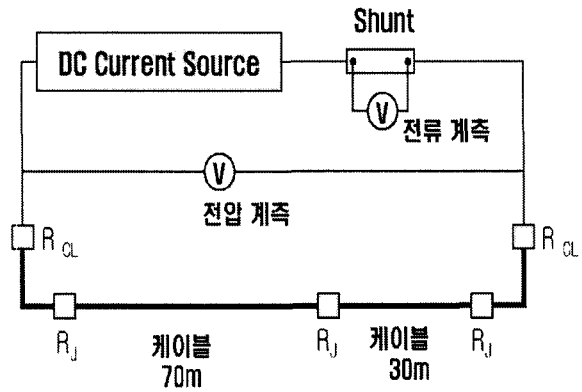


Fig. 4. Measurement setup.

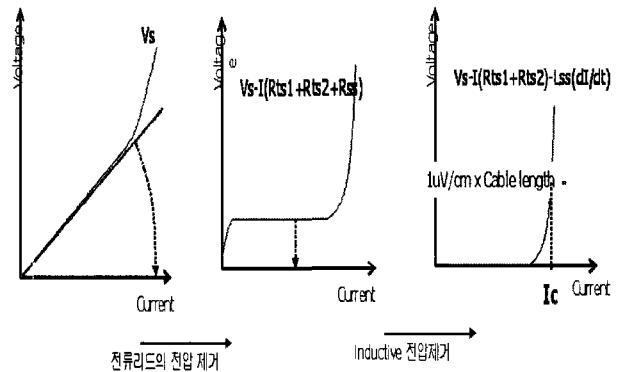


Fig. 5. Handling process of data.

2.2. 실험결과

그림 6과 그림 7은 실험결과를 나타내며, 표 2는 실험결과를 정리한 내용이다. 표 3은 전류리드의 저항을 측정된 결과이다. 표 2에서와 같이 고장케이블의 DC Ic는 설계치 3000A @ 75K를 만족하였다. 본 실험과 분석을 통해 실제 케이블에서의 DC Ic를 측정하는 기법(저항제거, 유도성분 제거 등)을 확립하였다. 두 개의 전원 장치를 병렬 연결하여 운전할 경우 전원 장치 전환 시 유도 성분의 소멸로 V-I 곡선에 일부 변형이 발생하는데 이 부분은 소프트웨어를 활용하여 해결할 수 있었다. 소프트웨어는 실험 데이터를 후처리할 때 활용되며, 한 개의 파워서플라이로 전류 인가를 할 때 램핑 속도를 측정하여 인덕턴스를 계산한 후 두 번째 서플라이로 전류 인가를 할 때 나타나는 변형된 V-I 곡선에 계산한 인덕턴스를 이용하여 인덕턴스 성분을 제거하는 기능을 한다. 향후, Ic 측정 시 케이블의 온도

를 규정하는 방법에 대한 논의가 필요할 것이다.

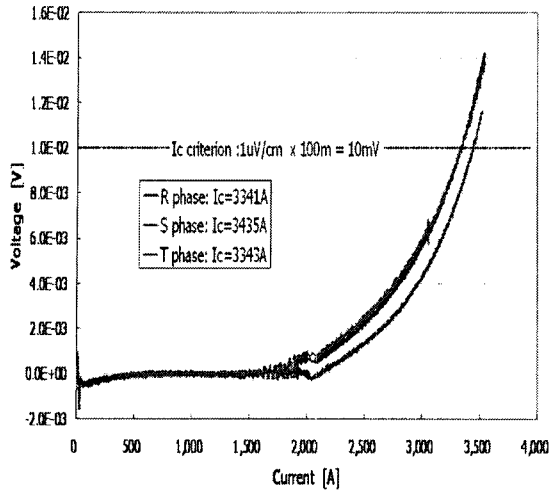


Fig. 6. DC Ic of HTS cable at 72K.

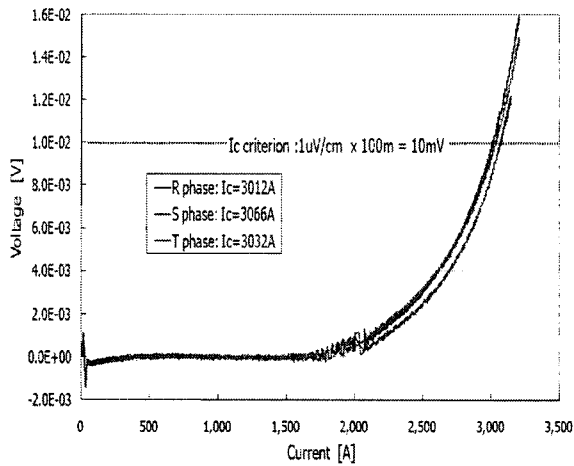


Fig. 7. DC Ic of HTS cable at 75K.

Table 2. DC Ic of HTS cable

		DC 임계전류 (Ic)		
		설계 @ 75K	측정결과	
			72K	75K
케이블	Phase R	3 KA	3.34 KA	3.01 KA
	Phase S	3 KA	3.43 KA	3.08 KA
	Phase T	3 KA	3.34KA	3.03 KA

Table 3. Resistance of current leads

전류리드 저항(u Ohm)		
	72K	75K
Phase R -N	109.5	108.2
Phase S-N	92.61	92.61
Phase T-N	115.4	115.4

3. 결 론

본 논문에서는 고창에 설치된 100m급 케이블의 DC Ic를 현장에서 측정하고 획득된 데이터를 분석하였다. 그리고, 케이블 시스템 상태에서의 DC Ic를 즉각적으로 계산 가능한 S/W를 작성하였다. 이렇게 얻은 결과는 국제인증기관 입회시험을 위한 데이터로 활용될 것이며, 측정방법, 분석방법을 정리하여 표준화(규격화)의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

참 고 문 헌

- [1] 성기철 외, "배전급 초전도 전력케이블 개발", 차세대 초전도 응용기술개발 사업단 연차보고서, 2002.
- [2] M.Nassi, "HTS Prototype for Power Transmission Cable : recent result and future programmes", Supercon. Sci. Technol.:13,2000.
- [3] 김해준 외, "고온 초전도 케이블의 굽힘 직경에 따른 임계전류 저하 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.

저 자 소 개



최석진(崔錫鎭)

1974년 6월 10일생, 1998년 연세대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 위덕대학교 산학협력단 연구원



이상진(李相鎭)

1962년 3월 3일생, 1988년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수



심기덕(沈基德)

1973년 2월 1일생, 1997년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원



조전욱(趙全旭)

1960년 3월 2일생, 1983년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2001년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 1990년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 책임연구원



손승호(孫松縞)

1974년 07월 17일생, 2001년 고려대학교 금속공학과 졸업, 2004년 동대학원 신소재공학과 졸업(공학석사), 2004년 한국전력공사 전력연구원 입사, 현재 한국전력공사전력연구원, 초전도그룹 일반연구원.



장현만(張鉉萬)

1971년 5월 21일 생, 1997년 경상대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2001년 2001년 2월 경상대학교 전기전자공학과 졸업(박사), 2002년 9월 Kyoto 대학 전기공학과 Post Doc, 2002년 9월 ~ 현재 LS 전선(주) 중앙연구소 선임연구원



황시돌(黃時鎔)

1981년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업. 1986년 8월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1980년 12월 한국전력공사 입사, 현재 한국전력공사 전력연구원 신에너지그룹 책임연구원



이수길(李秀吉)

1970년 2월 2일 생, 1992년 광운대학교 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 공학박사 수료, 1996년~ 현재 LS전선(주) 중앙연구소 수석연구원