

고온 초전도 전력 케이블의 고장전류 특성 해석

김진근*, 이재득*, 김재호*, 김아롱*, 조전욱**, 심기덕**, 박민원*, 유인근*
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Fault current characteristic analysis of HTS power cable

Jin Geun Kim*, Jeadeuk Lee*, Jea-Ho Kim*, A-rong Kim*, Hee-yeol Jung*, Jeonwook Cho**, Ki-Deok Sim**, Minwon Park*, In-Keun Yu*
 Changwon National University*, KERI**

Abstract - Before applying the HTS power cable to the real utility, the system needs to be analyzed using certain simulation tools. The impedance of superconductor is changed due to the magnitude of current, temperature, and magnetic field. PSCAD/EMTDC does not provide the superconductor component which has the impedance characteristic. The authors have developed the HTS power cable component in EMTDC program which included the same electrical characteristics as real HTS power cable previously. Based on the research results, the authors analyzed fault current characteristics of HTS power cable using the developed EMTDC model component.

1. 서 론

초전도 전력 케이블은 기존의 구리도체를 사용한 케이블에 비해 단위 면적당 송전용량을 3배이상 증가시킬 수 있으며, 전력 케이블의 소형화 및 대용량화가 가능하다. 또한 전기저항에 의한 손실이 거의 없어 송전 비용의 절감효과도 가져올 수 있다[1,2].

기존의 전력 케이블의 경우 임피던스변화는 고장지점 뿐이지만, 초전도 전력 케이블의 경우 임피던스 변화는 고장지점 뿐만 아니라 초전도 케이블의 임피던스도 변하게 된다. 따라서 고장 발생시 초전도 전력 케이블의 전기적 변화를 연구하는 것은 중요하다[3]. 초전도 전력 케이블을 실제계통에 적용하기 전, 시뮬레이션을 통한 분석이 필요하다. 전력 시스템의 연구에 사용되고 있는 PSCAD/EMTDC는 초전도 전력 케이블에 관한 모델을 제공하지 않기 때문에 초전도 특성을 출력할 수 있는 콤포넌트가 필요하다. 본 논문은 개발된 초전도 전력 케이블 콤포넌트를 이용하여 초전도 케이블이 포함된 회로에서 발생하는 고장에 대해 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

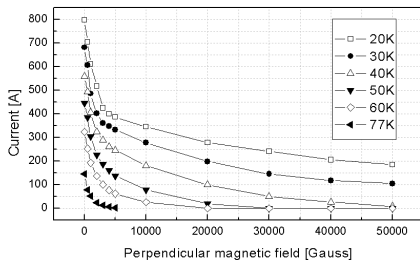
2. 본 론

2.1 초전도 전력 케이블

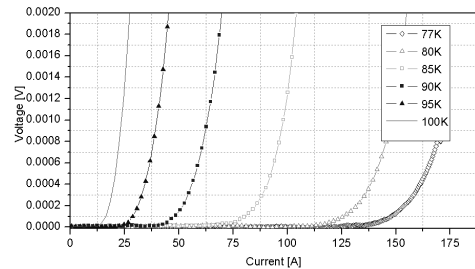
초전도 전력 케이블이란 기존 전력 케이블의 구리도체 대신에 초전도체를 사용하여 저손실 대용량 송전이 가능한 차세대 전력 케이블로서 대도시의 전력 수급 문제를 해결할 수 있는 친환경적 전력 케이블이다. 고온 초전도 전력 케이블은 테이프 형태의 적층 구조로 이루어져 있으며 냉매는 극저온 관로를 통해 77K의 액체 질소를 공급함으로써 전기 저항이 0Ω 인 초전도 상태를 유지한다.

2.2 PSCAD/EMTDC 모델의 개발

초전도체는 온도, 전류, 자기장의 세기에 의해 임계전류가 결정된다. 초전도 케이블의 모델링을 위해 실제 실험으로 초전도 전력 케이블의 특성을 측정하고, 그림 1의 자기장에 변화에 따른 임계전류 변화와 그림 2의 온도의 변화에 따른 임계전류 변화를 고려하여 PSCAD/EMTDC에서 사용할 수 있는 초전도 전력 케이블 콤포넌트를 개발하였다[4,5].



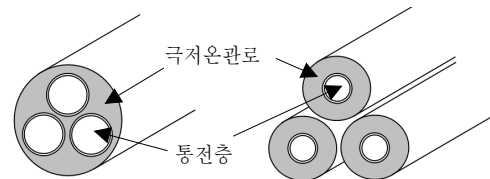
<그림 1> 자기장변화에 따른 임계전류 변화



<그림 2> 온도에 따른 임계전류 특성

2.3 극저온 관로

22.9kV급 초전도 전력 케이블에서는 하나의 극저온 관로에 3상이 모두 설치되어있지만, 154kV급 초전도 전력 케이블에는 1상에 하나의 극저온 관로가 설치되어있다. 시뮬레이션은 극저온 관로의 구조와 저항이 모두 고려되어 수행되었다.



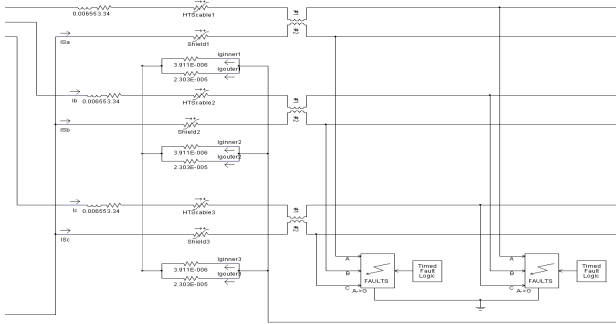
(a) 22.9kV 케이블, (b) 154kV 케이블
 <그림 3> 극저온 관로의 구조

2.4 154kV선로 시뮬레이션

그림 4는 초전도 전력 케이블 콤포넌트가 포함된 154kV급 선로이다. 시뮬레이션은 표 1의 선로임피던스와 극저온관로의 저항 데이터를 적용하여 모델링 되었다. 초전도 전력 케이블 부분을 제외한 나머지 전력 기기들은 현재의 전력 기기들과 동일하다. 고장조건은 초전도 케이블의 쉘드층과 통전층에 지락고장이 발생한 경우를 가정하여 시뮬레이션 하였다. 변압기는 현재 개발중인 초전도 전력 케이블의 용량인 1GVA에 맞게 1GVA로 설정 하였다. 시뮬레이션에서 모의한 고장은 각 상의 쉘드층과 통전층에 지락사고가 발생한 경우를 모두 분석하였다. 초전도 전력 케이블은 통전층 외부에 쉘드층이 설치되어 있고 통전층에 지락고장이 발생하면 쉘드층에도 지락고장이 발생하는 것으로 가정하였다. 고장은 시뮬레이션 시작 후 0.25초에 발생 하였으며 고장발생 후 6cycle 이내에 차단기가 작동하였다.

<표 1> 선로 파라미터

Source voltage	345[kV]
Transformer	1000[MVA] △-Y 345/154[kV]
4.8km ALOC-58 cable Z1	3.340+j0.00655
HTS cable length	8 [km]
Inner cryostat	3.911E-6 [Ω] @77[K]
Outer cryostat	2.303E-5 [Ω] @273[K]



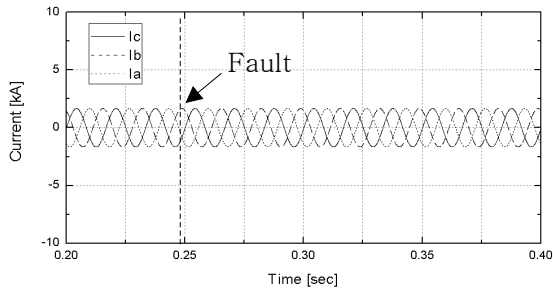
〈그림 4〉 154kV 초전도 전력 케이블이 포함된 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 회로

2.5 고장유형 분석

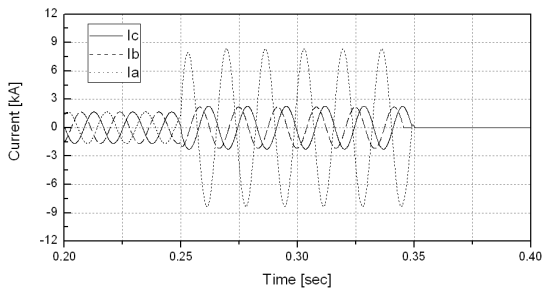
표 2는 초전도 전력케이블의 A, B, C 상의 통전층과 션드층 사이에 발생 할 수 있는 고장의 유형을 나타낸 것이다. fault로 나타낸 곳은 지락고장을 일으킨 위치를 나타낸다.

〈표 2〉 고장유형

	Phase A		Phase B		Phase C	
	션드층	통전층	션드층	통전층	션드층	통전층
Case1	fault	none	none	none	none	none
	fault	none	fault	none	none	none
	fault	none	fault	fault	none	none
Case2	fault	fault	none	none	none	none
	fault	fault	fault	none	none	none
	fault	fault	fault	none	fault	none
Case3	fault	fault	fault	fault	none	none
	fault	fault	fault	fault	fault	none
Case4	fault	fault	fault	fault	fault	fault

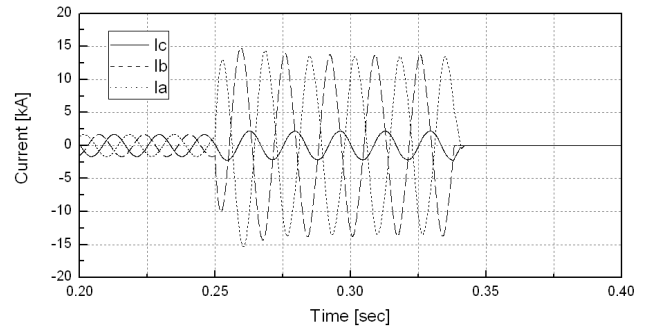


〈그림 5〉 Case1 통전층의 고장전류 파형

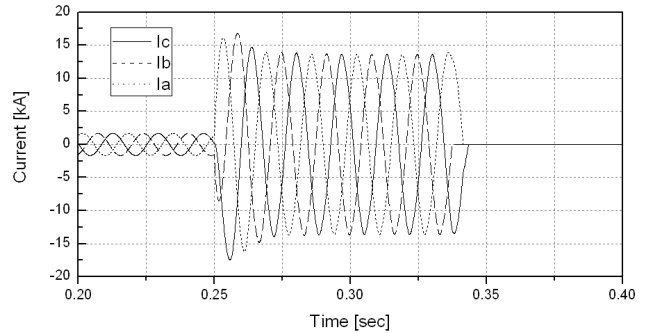


〈그림 6〉 Case2 통전층의 고장전류 파형

그림 5의 Case1은 션드층에만 지락고장이 발생한 경우이며, 션드층의 지락고장은 통전층 전류에 영향을 미치지 못하였고, 그림 6의 결과는 A상통전층과 션드층에 지락고장이 발생한 경우의 고장전류 변화이다. B,C상의 션드층에 지락고장이 발생하여도 B,C상의 통전층에는 영향을 미치지 못하였다.



〈그림 7〉 Case3 통전층의 고장전류 파형



〈그림 8〉 Case4 통전층의 고장전류 파형

그림 7은 A, B상의 통전층에 지락고장이 발생한 경우이고, 그림 8은 모든상에 지락고장이 발생한 경우의 파형을 나타낸 것이다. 각 상의 고장에 대한 통전층의 전류변화 시뮬레이션 결과는 네가지 유형으로 나타났으며, 션드층의 전류는 통전층의 전류변화와 동일한 크기의 전류가 유도되었다. 션드층에만 지락고장이 발생한 경우에는 고장전류의 크기가 증가하지 않았다.

3. 결 론

본 논문은 개발된 초전도 전력 케이블의 PSCAD/EMTDC 콤포넌트를 이용하여 154kV 초전도 전력 케이블에 발생할 수 있는 다양한 고장 유형에 대해 분석하였다. 이 연구 결과들은 향후 초전도 전력케이블의 계통 적용시에 발생할 수 있는 문제점들을 분석하는 중요한 자료로 활용 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTT04-01-03) 및 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] O.Tonnesen, "Power application for superconducting cables", *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 1, pp. 1103-1109, 1999.
- [2] Kim H. Jensen, Chresten Traeholt, Erling Veje, Manfred Daumling, Calus N. Rasmussen, Dag W. A. Willen and Ole Tonnesen, "Overcurrent Experiments on HTS Tape and Cable conductor," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 1, pp. 1781-1784, 2001.
- [3] J.W.Cho et al., "A design and test of HTS power cables and feasibility study of HTS power transmission system in KOREA," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 10, pp. 1150-1153, 2000.
- [4] Jae-Deuk Lee, Min-won Park, In-Keun Yu, "Formula Based Modeling of Resistive Type Superconducting Fault Current Limiter Using PSCAD/EMTDC" *International Conference on Electric Engineering 2002*, Vol.3, pp1595-1598, July 2002.
- [5] Jong-Hyun Bang, Jae-Ho Kim, Kideok Sim, Jeonwook Cho, Jae Young Yoon, Minwon Park, In-Keun Yu "Development of EMTDC model component for HTS power cable considering critical current, critical temperature and recovery time", *Kiasc*, pp.39-44, March 2005.