

초전도 전력케이블의 EMTDC 모델 컴포넌트 개발에 관한 연구

방종현*, 김아룡*, 박민원*, 유인근*

*창원대학교

A Study on the development for EMTDC model component of the Superconducting cable

Jong-Hyun Bang*, A-Rong Kim*, Minwon Park*, In-Keun Yu*

*Changwon National University

Abstract – 초전도 전력케이블은 저전압·대용량 송전이 가능하며 송전케이블의 크기를 대폭 축소시킬 수 있으므로 차세대 전력송전 시스템용으로서 그 활용가치가 높을 것으로 기대되고 있으며, 현재 실용화에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 초전도 전력케이블의 계통적 용을 위해서는 다양한 운전조건하에서의 동작특성이 검증되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 EMTDC 내에서 초전도케이블 컴포넌트의 초기모델을 개발하고 이를 모델링 된 배전계통에 적용하고 그 활용성을 설명하도록 한다.

1. 서 론

국내 전력수요는 매년 증가하고 이에 따라 케이블의 대용량화가 불가피하게 되었는데 부지 확보의 문제와 송전용량 제약의 문제 등이 있다. 이러한 상황에서 대두된 것이 초전도케이블이다. 초전도케이블은 기존의 전력케이블과 비교할 때 단위면적당 송전용량을 3 또는 4배 증가시킬 수 있으며 이로 인해 전력케이블의 소형화 및 대용량화가 가능하다. 또한 전기저항에 의한 손실이 적어 송전비용 절감효과도 가져올 수 있다.[1-5]

이러한 초전도케이블의 개발이 국내외적으로 활발히 추진되고 있으며, 이에 실용화를 위한 실제계통 선로 적용 연구의 필요성이 나타나게 되었다. 초전도케이블을 실제계통 선로에 적용하기 위해서는 다양한 연구가 필요한데, 그중 실제 전력계통을 구현할 수 있는 시뮬레이션 프로그램에서 초전도케이블을 적용하는 것도 한 방법이다.

본 논문에서는 EMTDC를 이용하여 초전도케이블의 저항성분 컴포넌트를 개발하고 이를 시뮬레이션에서 모델링한 22.9kV 선로에 적용하고, 이때의 특성을 분석하였다.

2. 초전도 전력케이블 EMTDC 모델 저항성분 컴포넌트

2.1 초전도케이블의 특성방정식

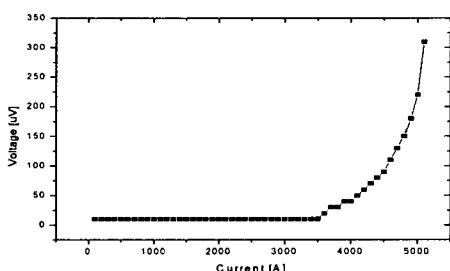


그림 1 초전도케이블의 V-I 특성그래프

그림 1은 실험을 통해 얻은 초전도케이블 전류(I) 및 전압 특성곡선이다. 이것을 통해 케이블의 V-I 특성식 (1)을 도출해낼 수 있다.

$$V = \exp^{(I/557.72385)} * 2.93105E-8 \quad (1)$$

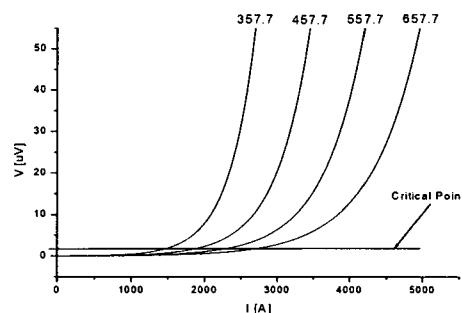


그림 2 임계전류값의 변화

(1)식에서 상수값(557.72385)을 임의로 바꿈으로서 임계전류값(I_c)을 바꿀 수 있는데, 각각의 그래프의 임계전류와 그때의 상수값의 관계식을 통해 식 (2)를 도출할 수 있다.

$$V = \exp^{(I/-0.42379 + 0.12285 * I_c)} * 2.93105E-8 \quad (2)$$

이에 케이블의 저항식은 식 (3)과 같다.

$$R = V/I = \exp^{(I/-0.42379 + 0.12285 * I_c)} * 2.93105E-8/I \quad (3)$$

즉, 초전도 전력케이블의 저항은 임계전류를 정해줬을 때 케이블에 흐르는 전류 I 에 따라서 결정되며 다른 변수와는 상관없다.

2.2 EMTDC 모델 컴포넌트 개발

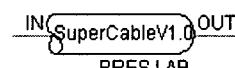


그림 3 초전도 전력케이블 EMTDC 컴포넌트

그림 3은 개발된 초전도 전력케이블의 EMTDC 초기 모델 컴포넌트이다. 그림 3에서의 입력(IN)은 전류이고, 출력(OUT)은 케이블의 저항이다. 즉, 식 (3)에서와 같이 초전도 전력케이블은 기존의 케이블과는 달리 케이블에 흐르는 전류의 변화에 따라서 저항이 바뀐다.

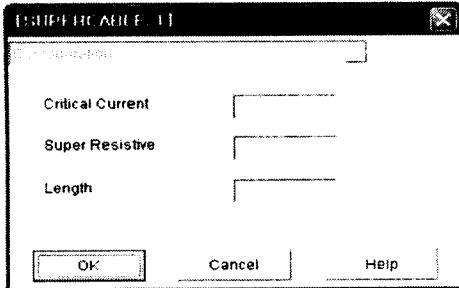


그림 4 초전도 전력케이블 컴포넌트 파라메터 입력창

그림 4는 초전도 케이블의 컴포넌트 파라메터 입력창이다. Critical Current는 임계전류로서 초전도체의 전류가 임계전류보다 클 때 초전도케이블은 펜치가 일어나면서 저항이 발생한다. 이 저항값은 식 (3)의 계산에 의해 결정된다. Super Resistive는 초전도케이블의 평상시 저항이다. Length는 초전도 전력케이블의 길이를 의미하고 단위는 [m]로 산정하였다. [6~7]

2.3 개발된 컴포넌트의 22.9kV급 배전선로 적용

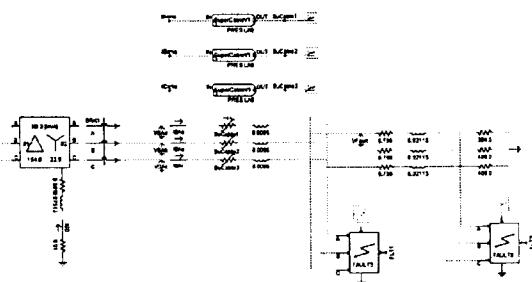


그림 5 시뮬레이션에 사용된 22.9kV 모의 배전선로

그림 5는 22.9kV급 배전선로를 모델링한 그림이다. 이는 실제 서마산-수정 22.9kV급 선로 임피던스와 데이터를 토대로 모델링하였으며, 그림에서 보이는 두 선로 중에 5km구간에 초전도 전력케이블을 설치하여 시뮬레이션을 하였다. 초전도 전력케이블의 저항은 가변저항기를 넣어서 표현하였으며 인덕턴스는 5km구간에서 일정(0.5mH)하게 설정하였다.

사고 발생 후 5cycle 이후에 Break가 작동되도록 하였으며, 이때의 초전도 전력케이블의 저항값은 정상초신도 운전시의 저항값인 $10e-11 [\Omega]$ 이다.

표 1 상전도 전력선로 적용시의 고장 전류값과 전압

	I_{rms} [kA]	V_{rms} [kV]
정상	0.046	13.8
1선지락	0.43	3.08
3상단락	1.51	10.54

표 1은 기존전력선로 적용 시의 전류 및 전압값을 나타낸 것이다. 계통사고 중 가장 빈번히 일어나는 것이 1선 지락이고, 가장 큰 단락전류가 흐르는 것이 3상단락으로 이 두 가지 경우에 대해서 데이터를 뽑아내었다.

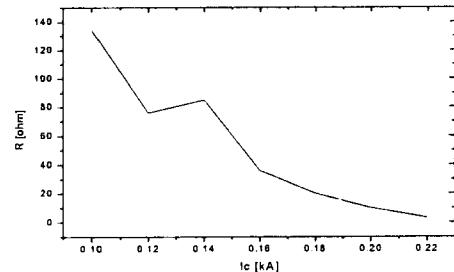


그림 6 1선지락시 I_c 변화량에 대한 저항변화값

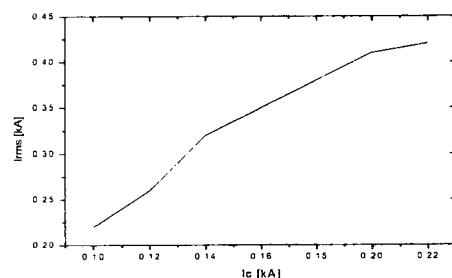


그림 7 1선지락시 I_c 변화량에 대한 전류변화값

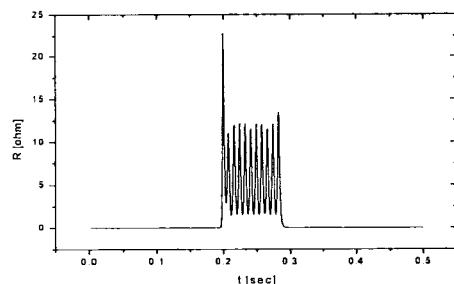


그림 8 1선지락시 초전도 전력케이블 순시저항값

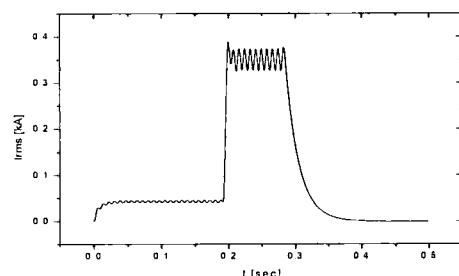


그림 9 1선지락시 초전도 전력케이블 순시 전류실험값

그림 6, 그림 7은 1선지락시 초전도 전력케이블의 컴포넌트에서의 임계전류값 I_c 를 변화시킬 때의 초전도 전력케이블의 저항과 고장전류값의 변화그래프이다. 실제 계통에서 초전도 전력케이블을 적용시킬 때 냉동기 용량을 고려해야 돼는데 이는 전력순실 $P_{loss}(I^2/R)$ 과도 관련되는 문제이다. 전력순실 $P_{loss}(I^2/R)$ 가 커지면 이에따라 냉동기의 용량도 커지므로 적절한 산정값이 필요할 것이다. 그림 6과 7에서와 같이 초전도 전력케이블의 임계전류

값을 높여 설계하면 고장시 발생하는 내부저항값은 감소 하나 고장전류값의 감소가 적음을 알수 있다.

그림 8, 그림 9는 1선지락시의 초전도 전력케이블의 저항값과 전류 실효값을 순시적으로 표현한 그림이다. 저항값은 최고 23[Ω]이 나왔으며 전류실효값은 0.38[kA]정도로 제한되었다.

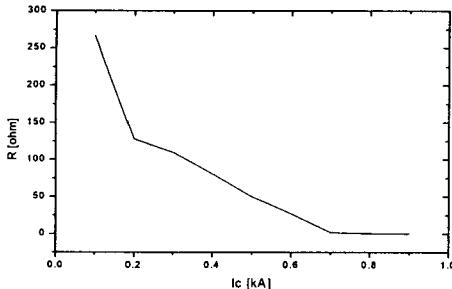


그림 10 3상단락시 I_c 변화량에 대한 저항변화값

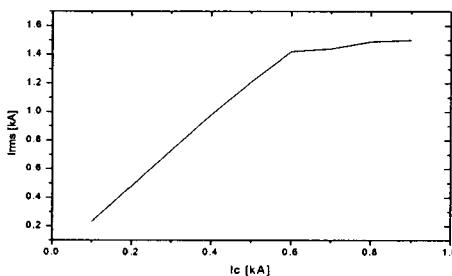


그림 11 3상단락시 I_c 변화량에 대한 전류변화값

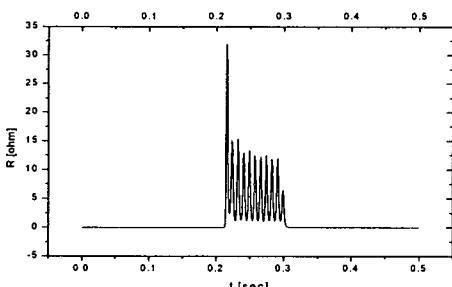


그림 12 3상단락시 초전도 전력케이블 순시저항값

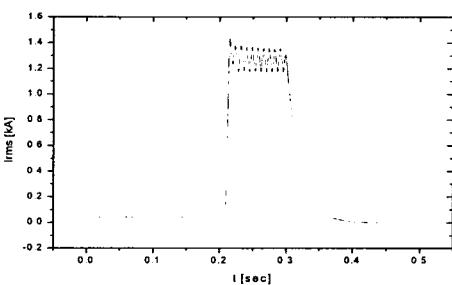


그림 13 3상단락시 초전도 전력케이블 순시 전류실효값

그림 10, 그림 11은 3상단락시 초전도 전력케이블의 컴포넌트에서의 임계전류값을 변화시킬때 저항과 전류값의 변화그래프이다.

그림 12, 그림 13은 3상단락시의 초전도케이블의 저항값과 전류실효값을 나타낸 그림이다. 저항값은 사고시 최대 32[Ω]이 나왔으며 전류실효값은 1.4[kA]정도가 나왔다.

3. 결 론

본 논문에서는 초전도 전력케이블의 V-I데이터를 바탕으로 EMTDC 내에서 보다 편리하게 시뮬레이션 할 수 있도록 컴포넌트를 개발연구 하였다. 그리고 이를 실제계통과 같은 배전선로에 적용해 보았다. 초전도 전력케이블의 종류가 몇 가지 있지만, 이 EMTDC 컴포넌트를 활용하면 충분히 다른 초전도 전력케이블도 해석할 수 있을 것이라 판단된다. 추가적으로 정밀한 실험값을 기초로 파라미터를 튜닝할 예정에 있으며, 인더던스 값도 전류변화에 따른 값들로 변화입력 가능하도록 수정할 계획에 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)의 일부지원과, 과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Diego Politano, Marten Sjostrom, Gilbert Schnyder and Jakob Rhyner, "Technical and economical Assessment of HTS Cablesems" IEEE Transactions on applied superconductivity conference, Sept, 2000
- [2] John Cerulli, "State of the Art of HTS Technology for Large Power Application: Current Programs and Future Expectations" Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting, Dec.1998
- [3] Aldo Bolza, Piero Metra, Marco Nassi, Mujibar Mrahman, "RECENT Development in HTS Power Cable Application" IEEE Transactions on applied superconductivity vol.7, NO.2, pp.339-344, June 1997
- [4] N.Kelly, M.Massi, L.Masur, "Applicaction of HTS wire and cables to Power Transmission : State of the Art and Oppotunities", IEEE Transactions on applied superconductivity, pp.448-454, 2001
- [5] Jeffrey O.Willis, "Superconducting Transmission Cables" IEEE Power Engineering Review, pp.10-14, 2000
- [6] T.Kiss, M.Inoue, "Quench Characteristics in HTSC Devices", IEEE Transactions on applied superconductivity, vol.6, NO.2, pp.1073-1076, 1999
- [7] R.S.Silbergliit, Emile Ettinggui, Anders Hove, "Strengthening the Grid: Effect of High Temperature Superconducting(HTS) Power Technologies on Reliability, Power Transfer Capacity, and Energy Use" Rand Corp., July 2002