

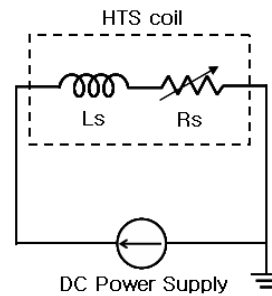
자장과 온도에 의한 임계전류특성을 가지는 초전도 코일 EMTDC 컴포넌트 개발

이재득*, 정희열*, 김재호*, 김진근*, 박민원*, 유인근*, 이연용**, 백승규**, 김호민**, 권영길**
 창원대학교*, 한국전기연구원**

Development of EMTDC component for HTS coil considering $I_c(B,T)$ characteristic.

Jaedeuk Lee*, Hee-Yeol jung*, Jaeho Kim*, Jinkeun kim*, Minwon Park*, Inkeun Yu*
 Eun-Yong Lee**, Seungkyu Beik**, Ho Min Kim**, Youngkil Kwon**
 Changwon National University*, KERI**

Abstract - Before applying HTS power device to the real utility system, a system analysis should be carried out by some simulator. PSCAD/EMTDC simulation tool is one of the most popular system analysis. Unfortunately the model component for HTS coil is not provided in the PSCAD/EMTDC simulation tool. In this paper, the model component for the HTS coil has been developed considering the real field data, temperature and magnetic field, of the HTS coil. The numerical model of HTS coil in PSCAD/EMTDC was designed by using the real experimented data obtained from the AMSC™ wire characteristic. The developed model component for HTS coil could be variously used when the power system includes HTS coil.



1. 서 론

산업의 발전과 더불어 전력의 수요가 급격히 증가함으로 인하여 전력 계통의 허용용량은 점차 한계에 다다르고 있다. 이로 인하여 기존의 전력기기 보다 용량을 증가시키고 기기의 효율 및 환경 친화적인 전력기기에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이러한 요구에 가장 효과적으로 대응할 수 있는 기기가 초전도 상태일 때 저항이 0이 되는 초전도 특성을 이용한 초전도 전력기기들이다. 최근 급속히 발전하고 있는 초전도 선재 기술에 힘입어, 초전도 전력기기 분야의 발전 또한 점차 가속화 되어 가고 있다. 현재 미국, 일본 그리고 유럽 등, 전 세계적으로 초전도 전력기기 개발이 경쟁적으로 이루어지고 있으며, 국내의 경우 과학기술부 주관의 DAPAS Program으로 초전도 케이블, 초전도 한류기 그리고 초전도 모터 등의 개발이 성공적으로 이루어지고 있다. 이러한 초전도 전력기기의 개발로 인하여 전력계통의 안정도와 신뢰성을 높일 것으로 기대된다. 초전도 전력기기를 계통에 투입하기 전 실 계통에서 발생할 수 있는 모든 상황에 대한 해석이 필요하다. 초전도 전력기기의 경우 기존의 상전도 기기와는 다른 초전도 특성을 가지기 때문에 계통 해석시에 초전도 특성을 고려하여야 한다. 따라서 본 논문에서는, 현재 전력 시스템 해석에서 가장 널리 사용되고, 가장 유용한 전력계통 과도상태 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC에서 초전도 특성을 가지는 고온 초전도 코일 컴포넌트를 개발 하고자한다.

2. 본 론

2.1 고온초전도 코일의 특성 방정식

초전도 전력기기에 사용되는 초전도체의 경우 저온초전도체와 고온초전도체로 구별 할 수 있으며, 현재 대부분의 전력기기에서는 고온초전도체를 이용한 초전도선재를 이용하고 있다. 고온초전도 선재의 전기적 특성은 식 (1)과 같이 Power-law에 의해 나타낼 수 있다.

$$V = V_0 \left(\frac{I}{I_c(B,T)} \right)^n \quad (1)$$

여기서 V 는 코일 양단의 전압, V_0 는 코일에서 발생하는 켈치의 기준값이며 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ 의 값을 가진다. I 는 코일에 흐르는 전류, 그리고 $I_c(B,T)$ 는 코일에서 발생하는 자장과 온도에 의해 결정되는 임계 전류이다. 그리고 n 은 전압-전류 특성의 기울기를 결정짓는 인덱스 값이다[1][2].

그림 1은 초전도코일시스템의 기본 회로도이다. PSCAD/EMTDC상에서 초전도 코일 컴포넌트는 초전도코일의 인덕턴스와 켈치시에 발생하는 저항의 변화를 이용하여 표현 하였다.

<그림 1> 초전도코일시스템의 기본회로

$$V = I(t)R \quad (2)$$

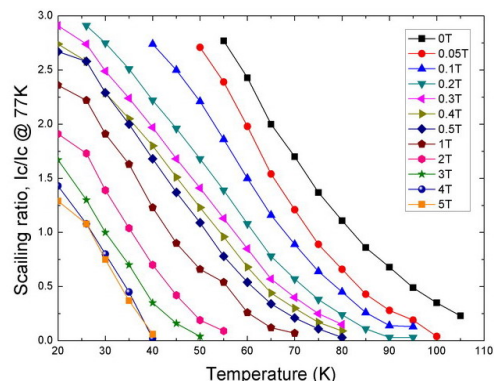
$$R = \frac{V}{I} = V_0 \left(\frac{I}{I_c(B,T)} \right)^n \cdot \frac{1}{I} = V_0 \frac{I^{n-1}}{I_c(B,T)^n} \quad (3)$$

옴의 법칙에 의하여 초전도 코일에 발생하는 전압은 시간에 대한 전류와 저항의 곱으로 나타내며, 식 (2)와 같다.

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 저항 값 R 에 대한 함수로 표현하면 식 (3)과 같이 되며, R 에 대한 시간의 함수를 초전도 코일 컴포넌트에 이용하였다. 대부분의 초전도 전력기기에 사용되는 초전도 선재의 경우 장선의 테이프의 형상을 가지며, 초전도 선재를 솔레노이드 방식이나 팬케이크 방식으로 권선된 코일을 이용하게 된다. 그러므로 초전도 코일은 초전도체의 특성상 온도의 영향뿐만 아니라 코일에서 발생하는 자장의 영향을 크게 받게 되며, 이러한 부분들로 인하여 초전도 선재의 임계전류 값을 크게 저하시키는 요인이 된다. 따라서 초전도 코일의 온도와 발생하는 자장으로 임계전류 값이 결정되며, 초전도 코일 모델 컴포넌트에서는 실제 실험 데이터를 이용하여 $I_c(B,T)$ 의 특성을 고려하였다.

그림 2는 실험을 통해 얻어진 AMSC™ 선재의 $I_c(B,T)$ 특성을 나타내고 있다[3]. 그림 2는 선재의 I_c 와 온도에 대한 함수($I_c(T)$)를 선재에 적용하는 수직자장에 대한 결과로 나타낸 그래프이다.

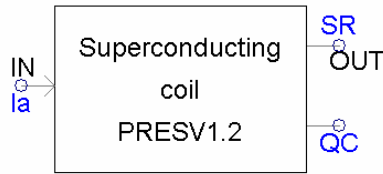
본 논문에서는 그림 2의 그래프에서 각 자장별 $I_c(T)$ 의 함수를 수식화하여 초전도 코일 컴포넌트에 적용하였다.



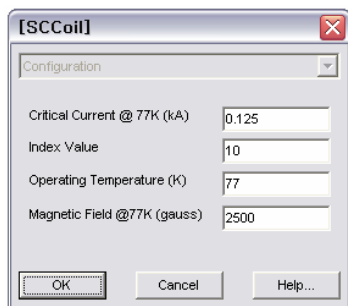
<그림 2> AMSC 선재의 $I_c(B,T)$ 특성

2.2 고온초전도 코일 PSCAD/EMTDC 모델 컴포넌트

그림 3은 개발된 고온초전도 코일의 PSCAD/EMTDC 모델 컴포넌트로써 하나의 입력과 두 개의 출력으로 구성되어 있다. 초전도코일에 통전되는 전류 값이 입력이고, 각각의 파라미터에 의해 계산되는 초전도코일의 저항 값과 코일의 온도에 의해 결정되는 임계전류 값을 출력으로 구성하였다. 그림 4는 초전도 코일 컴포넌트의 파라미터 입력창으로 파라미터 입력 값으로는 77K 에서의 임계전류 값, 초전도 코일이 가지는 Index 값, 초전도코일의 운전온도 와 77K에서 초전도 코일에 작용하는 수직자장의 값으로 구성되어 있다.

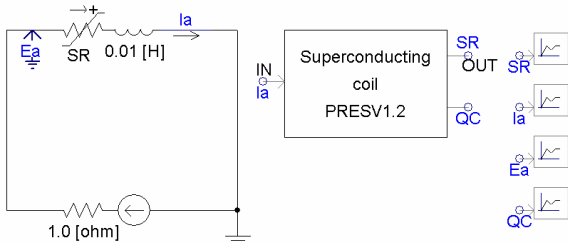


〈그림 3〉 개발된 초전도 코일 컴포넌트



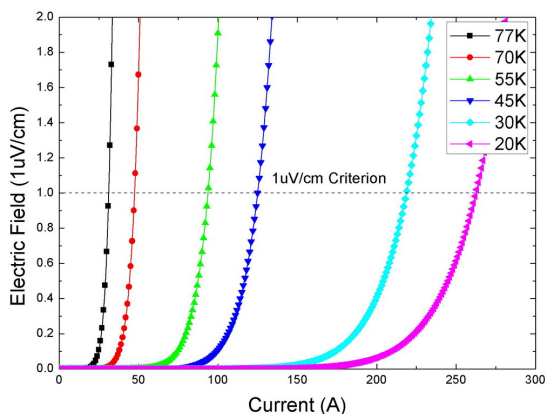
〈그림 4〉 초전도 코일 컴포넌트 파라미터 입력창

2.3 고온초전도 코일 모델링



〈그림 5〉 초전도코일 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 회로구성도

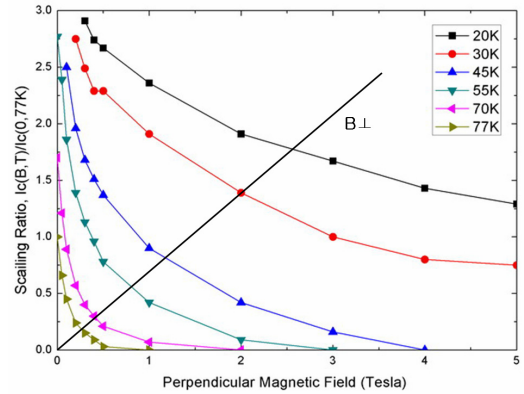
그림 5는 개발된 초전도코일의 특성을 PSCAD/EMTDC상에서 모델링한 그림이다. DC power supply와 초전도 코일로 구성된 회로상에 입력된 파라미터에 의해 초전도 코일의 $I_c(B, T)$ 값이 결정되어 각 온도별로



〈그림 6〉 온도에 따른 전압전류특성곡선의 변화

〈표 1〉 초전도코일의 온도변화에 따른 임계전류 값의 변화

운전온도	Ic
20K	610A
30K	218.7A
45K	125.4A
55K	93.75A
70K	47.5A
77K	31.25A



〈그림 7〉 Ic와 선재에 작용하는 수직자장에 대한 Load line

$I_c(B, T)$ 값이 출력되면서 초전도 코일의 전압전류특성이 그래프로 출력된다.

개발된 초전도 코일 모델 컴포넌트의 동작특성을 확인하기 위해 77K에서 초전도 선재의 Index값이 10이고 125[A]의 임계전류 값을 가지며, 2000[gauss]의 최대 수직자장 값을 가지는 초전도 코일 모델을 가정하고 시뮬레이션 하였다. 결과 값은 그림 6 그리고 표1과 같다.

그림 7은 본 논문에서 모델링된 초전도 코일의 Loadline이다. 출력값과 Loadline상의 값과 거의 일치함을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 자장 및 온도의 의한 임계전류 특성을 갖는 초전도코일의 PSCAD/EMTDC 모델 컴포넌트를 개발하였다. 초전도코일의 임계전류의 값에 영향을 미치는 수직자장과 온도를 반영한 초전도코일 컴포넌트를 실험 데이터를 바탕으로 개발함으로써 보다 실제 초전도코일 모델에 근접한 시뮬레이션이 가능하게 되었다.

향후 PSCAD/EMTDC와 FEM simulation tool과의 연계를 통하여 초전도 코일의 자기장 변화에 따른 특성을 모의하여 실제 초전도 코일이 가지는 특성과 가까운 PSCAD/EMTDC 컴포넌트 개발을 진행해 나갈 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. Sekine, O. Tsukamoto "Study on quench protection of magnets wound of YBCO coated superconductors with locally fluctuating critical currents."Physica C,426-421, 1353-1357, 2005
- [2] Y. Wolfus, Y.Fleger "Estimation of the critical current of BSCCO coils based on the field dependent I-V curves of BSCCO tapes" Physica C 401, 222-226, 2004
- [3] M.A.Young, J.A.Demko, M.j.Gouge, M.O.Pace, J.W.Lue, andR. Grabovickie"Measurements of the Performance of BSCCO HTS Tape Under Magnetic Fields With a Cryocooled Test Rig"IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.13, No.2, 2964-2967, June 2003