

PSCAD/EMTDC를 이용한 3상 초전도 변압기 시뮬레이션

임채형\*, 박민원\*\*, 유인근\*

\*창원대학교, \*\*차세대초전도응용기술개발사업단

Simulation of Three Phase Superconducting Transformer using PSCAD/EMTDC

Chae-Hyung Lim\*, Min-won Park\*\*, In-Keun Yu\*

\*Changwon National University, \*\*Center for Applied Superconductivity Technology

**Abstract** - Although the researches and developments are performed for superconducting technologies, many problems such as AC loss and quench phenomenon still remain to design the superconducting transformer. In addition, pre-study on the three phase high temperature superconducting (HTS) transformer is a sort of time and expense consuming work, thus it is very worthy of being analyzing the characteristics of HTS transformer in advance through proper simulation programs and skills. This paper presents an effective simulation method for the three phase HTS transformer using components developed in the PSCAD/EMTDC.

작하기 전에 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 고온 초전도 변압기의 동작 특성을 분석하게 된다면, 다양한 고장과 운전 조건을 통해 고온 초전도 변압기의 특성을 보다 다양하고 저렴하게 분석하게 될 것이다.[2]

2. 3상 고온 초전도 변압기

고온 초전도 변압기는 일반 변압기와 동작 원리와 기본 구조는 동일하지만, 일반 변압기의 권선부를 고온 초전도체(도체 저항 =0)로 대체함으로써, 얻을 수 있는 장점인 낮은 %임피던스와 손실 감소에 의해 높은 전류 밀도를 갖는 특징이 있다. 하지만, 일반 변압기에서는 크게 고려할 필요가 없는 교류 손실과 초전도 상태가 파괴되는 켄치 현상에 대한 고려가 필요하다. 그림 1은 본 논문에서 연구한 3상 고온 초전도 변압기의 시뮬레이션 개념을 나타낸 것이다.[3,4]

1. 서 론

산업 기술의 발전과 전력 기기의 대용량화에 따라 현재의 전력 시스템을 이루는 대용량 전력 기기를 보다 효율 전력 기기로 대체해야 하는 필요성이 대두되고 있다. 기기의 대용량화, 소형화, 화석에너지 자원의 보존 등 현재 산업 설비의 발전 방향에 상응하는 것이 초전도체를 이용한 초전도 전력 기기이다. 이 중에서 상용화에 상당히 접근한 것이 초전도 변압기이다. 초전도체에는 임계 온도에 따라 저온 초전도체(동작 임계 온도 4K)와 고온 초전도체(77K)로 나눌 수 있으나, 본 논문에서는 임계 온도가 저온 초전도체에 비해 상대적으로 높고, 자기적으로 안정성이 높은 고온 초전도 변압기를 기준으로 하여 변압기 시뮬레이션을 실행하였다.[1]

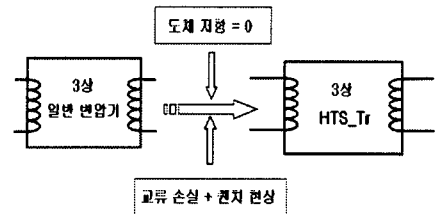


그림 1 3상 고온 초전도 변압기의 시뮬레이션 개념

3상 고온 초전도 변압기는 일반 상전도 변압기의 권선으로 사용되는 동선을 고온 초전도체로 대체하고, 권선 부분을 초전도 상태로 유지하기 위하여, 액체 질소로 냉각시킨 구조이므로, 고온 초전도 변압기는 동작 원리와 기본 구조는 일반 변압기와 거의 동일하다. 하지만, 권선을 초전도체로 사용함으로써 기존 일반 변압기와 동일한 전류를 흘렸을 때, 사용되는 도체의 양을 현저히 줄일 수 있어, 동손을 줄이게 되어 변압기 자체의 전력 효율을 증가시킬 수 있다. 추가적으로, 변압기의 부피와 무게를 감소시켜 변압기의 경량화를 이룰 수 있으며, 절연유의 불필요성으로 인해 화재 위험을 줄일 수 있는 것과 환경 친화적인 장점을 가지게 된다.

변압기의 용량이 1[MVA], 전압은 22.9/6.6[kV]인 3상 고온 초전도 변압기의 시뮬레이션을 위한 내부 입력 값은 표 1과 같다. 시뮬레이션에서 동작 임계 온도가 77K인 3상 고온 초전도 변압기의 %임피던스와 무부하 손, 그리고 교류 손실 등을 입력 파라미터로 하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 3상 고온 초전도 변압기 컴포넌트를 작성하고, 시뮬레이션을 수행하였다.[5]

표 1 3상 고온 초전도 변압기 사양(1[MVA]기준)

	고온 초전도 변압기	일반 변압기	[unit]
상 수	3	3	
변압기 용량	1	1	[MVA]
전압	22.9/6.6	22.9/6.6	[kV]
결선 방식	Y-Δ	Y-Δ	
No load losses	2.7	22.5	[kW]
%Impedance	5.0	15.0	[%]
동작 온도	77		[K]
AC loss	0.618		[kW]

그러나, 초전도 변압기가 가지는 여러 가지 우수한 장점에도 불구하고 아직 초전도 변압기의 상용화를 위해서는 냉각, 교류 손실, 고장 특성, 켄치 특성 등 해결해야 할 문제점등이 많이 남아 있다. 이러한 고온 초전도 변압기를 직접 제작하여 실제 운전을 통한 고온 초전도 변압기의 성능 및 특성을 연구할 경우, 막대한 양의 개발 비용과 시간, 인력을 필요하게 되고, 예기치 못한 사고 등에 의해 변압기의 연구에 제약이 따를 수 있을 것이다. 이를 보완하기 위해, 고온 초전도 변압기를 직접 제

### 3. 시뮬레이션

3상 초전도 변압기를 시뮬레이션하기 위한 고장 조건은 고장 발생 시간 0.2[sec], 고장 지속 시간 0.3[sec], 차단기 투입시간은 0.25[sec]로 설정하였으며, 고장 종류는 A상 1선 지락 사고를 모의하였다. 그림 2는 1선 지락 사고 발생시 EMTDC상의 3상 일반 변압기 컴포넌트의 1차/2차 측 전류를 나타내는 파형이고, 그림 3은 EMTDC상에서 개발한 3상 고온 초전도 변압기의 컴포넌트에 의한 1차/2차 전류 파형이다. 정상 동작시와 고장 발생시 두 컴포넌트의 동작은 거의 일정함을 알 수 있다.

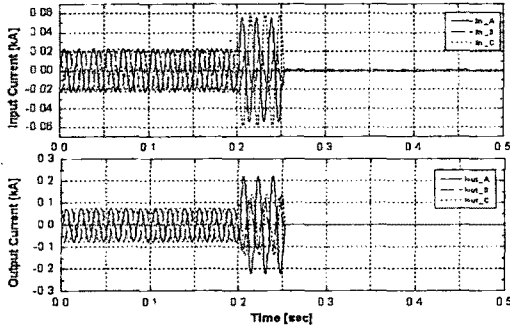


그림 2 3상 일반 변압기의 전류 파형

#### 3.1 3상 초전도 변압기 시뮬레이션

3상 고온 초전도 변압기의 동작 특성을 분석하기 위하여 PSCAD/EMTDC상에서 3상 고온 초전도 변압기 컴포넌트를 개발하여 구성한 간단한 3상 회로에 A상 1선 지락 사고를 발생시켜 3상 고온 초전도 변압기의 동작 특성과 고장 특성을 분석하였다.

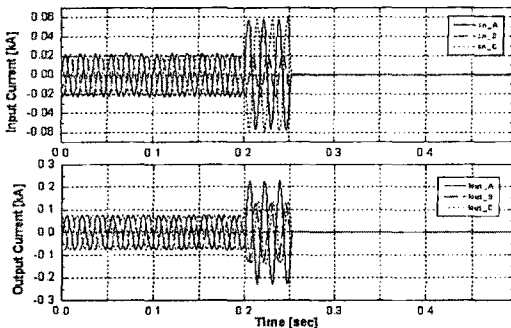


그림 3 3상 초전도 변압기의 전류 파형(교류손실 무시)

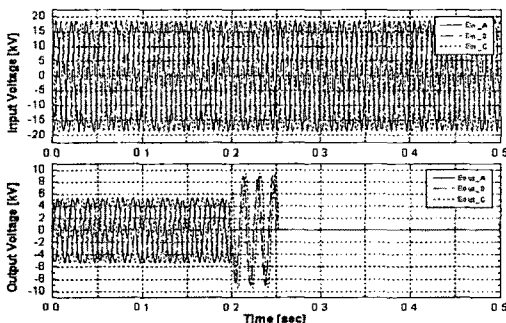


그림 4 3상 초전도 전압(교류 손실 무시)

그림 3과 4는 EMTDC상의 3상 고온 초전도 변압기의 컴포넌트를 이용한 1선 지락 사고시 전류와 전압 파형이며, 교류 손실 0.618[kW]은 고려하지 않았을 경우이다. 다음의 그림 5와 6은 교류 손실을 고려한 경우에서의 3상 고온 초전도 변압기의 전류와 전압 파형이다. 그림 5와 그림 6을 그림 3과 4와 비교하면, 교류 손실에 의해 1차/2차의 전류가 약 1.3[%] 증가하였으며, 약 2[%] 전압강하가 발생하였다. 이를 분석하면, 3상 고온 초전도 변압기의 교류 손실이 증가하게 되면 변압기의 전류가 증가하여, 결국 열손실이 증가되어 초전도 기에서 중요한 요소인 냉각에 영향을 줄 수 있을 것이다.

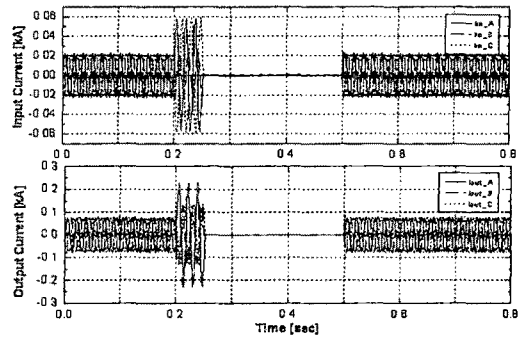


그림 5 3상 초전도 변압기의 전류 파형(교류 손실)

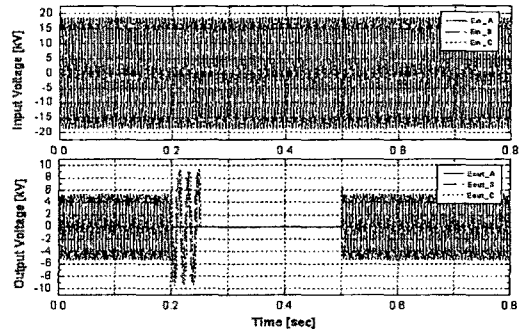


그림 6 3상 고온 초전도 변압기의 전압 파형(교류손실)

#### 3.2 초전도변압기의 켄치특성

3상 고온 초전도 변압기가 일반 3상 변압기와 다른 점이 고장 발생시 임계 성분(임계온도, 임계자장, 임계전류) 중 하나 이상의 임계값을 초과시 초전도체의 성질을 잃어버리고 상전도 상태로 전이되는 켄치 현상이 일어나게 된다. 이 때 켄치 현상이 발생하면, 초전도 기기는 심각한 손상을 입을 수 있지만, 고온 초전도 변압기는 증가하는 저항에 의해서, 순간적으로 고장 전류를 제한하는 한류 작용을 하는 한류기의 기능을 하게 된다. 본 논문에서는 이러한 한류 특성을 고려하여 3상 고온 초전도 변압기의 한류 기능을 시뮬레이션하였다.[6]

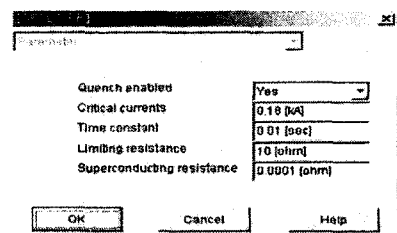


그림 7 변압기 내부의 한류 입력 파라미터

그림 7은 본 논문에서 개발된 3상 고온 초전도 변압기 컴포넌트에서의 켄치 특성을 인가할 수 있는 파라미터와 기준이 되는 임계 전류 값, 증가하는 저항의 시정수와 최대 저항 값 등을 입력 할 수 있는 입력 파라미터이다. 그림 8은 0.2[sec]에서 발생한 고장에 의해 고장 전류의 증가로 켄치 현상의 발생과 0.5[sec]에서 고장이 제거되었을 때, 다시 초전도 상태로 회복되는 파형을 나타낸다. 식 [1]은 고장 발생시 켄치 현상에 의해 증가하는 저항 곡선식이다. [7, 8]

$$R(t) = R_{sc} \left( 1 - e \left( - \frac{t - t_c}{\tau} \right) \right) \quad [1]$$

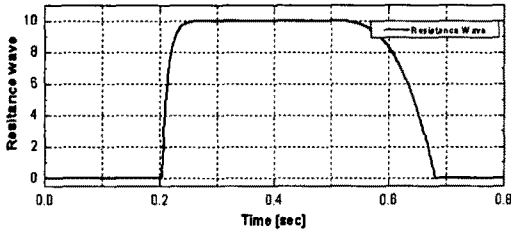


그림 8 켄치시 초전도 변압기의 저항 곡선

그림 9과 10은 고장이 0.2[sec]에 발생하여 0.5[sec]에 고장이 차단되었을 경우에 한류 특성과 회복특성을 보여 주는 3상 고온 초전도 변압기의 전류와 전압 파형을 나타낸다.

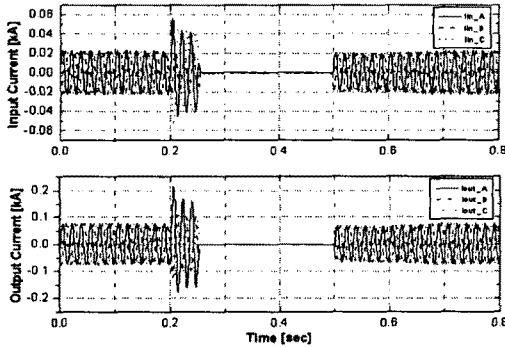


그림 9 3상 초전도 변압기의 전류 파형(한류 특성)

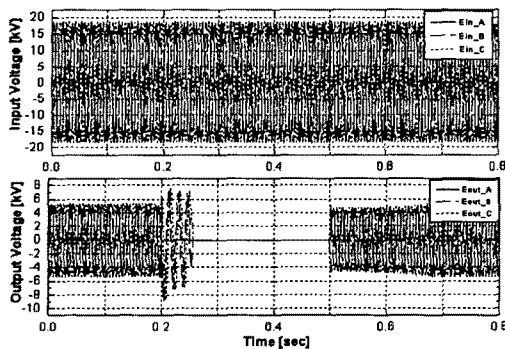


그림 10 3상 초전도 변압기의 전압 파형(한류 특성)

그림 9와 그림 10을 그림 6과 그림 7과 비교하면, 0.2[sec]에 발생한 1선 지락 사고에 의한 고장 전류에 의해 3상 고온 초전도 변압기의 초전도 현상이 파괴되

어 켄치 현상이 발생하여, 최초 고장 발생시 고장 전류의 약 3~7[%], 고장 발생 후 3 cycle에서는 고장 전류의 약 22[%]가 감소하였으며, 2차 전압은 고장 발생시 약 6[%], 3cycle에서는 약 20[%]가 감소함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 초전도 전력 기기 중에서 3상 고온 초전도 변압기를 과도 현상 분석용 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 동작 특성을 분석하였다. 3상 고온 초전도 변압기의 컴포넌트를 개발하여 초전도 변압기의 동작 특성을 확인할 수 있었으며, 또한 고장 발생시 고장 전류에 의해 초전도체의 임계 전류값 초과시 발생하는 켄치 특성에 의한 초전도 변압기가 가지는 한류 기능을 시뮬레이션하였다.

개발된 PSCAD/EMTDC상의 3상 고온 초전도 변압기 컴포넌트를 이용하여 초전도 변압기 개발에 활용하게 된다 면 보다 다양한 조건에서 보다 간단한 방법으로 초전도 변압기의 특성을 분석할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 실제 통 분석에 본 논문에서 개발된 3상 고온 초전도 변압기 컴포넌트를 이용하면, 고온 초전도 변압기의 실제통 적용이 보다 효과적이고 다양한 분석을 할 수 있을 것이다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도 응용 기술 개발 사업단의 연구비 지원과, 과학 기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 일부 지원에 의해 수행되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Sam P. Mehta, Nicola Aversa, and Michael S. Walker, "Transforming transformers", IEEE Spectrum, Vol.34, No.7, pp. 43-49, July 1997
- [2] Chandra T. Reis, Sam P. Mehta, Benjamin W. McConnell, Robert H. Jones, "Development of High Temperature Superconducting Power Transformers", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting - Volume 2, 432-437, 2001
- [3] Sven Hornfeldt, Ove Albertsson, Dietrich Bonmann, Friedrich König, "Power Transformer with superconducting winding", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 29, No. 6, November, 1993
- [4] 이희준, 차귀수, 이지광, 한승엽, 류경우, 최경달, "더블 팬케이크 권선형 10kVA 고온 초전도 변압기", 전기학회논문지 50B권, 2호, 2월, 2001
- [5] Kazuo Funaki, Masataka Iwakuma, Kazuhiro Kajikawa, Masanori Hara, Junya Suehiro, Takehio Ito, "Development of a 22kV/6.9kV Single-Phase Model for a 3 MVA HTS Power Transformer", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol.2, No.1, March 2001
- [6] T.ISE, Y.MARUTANI, Y.MURAKUMI, "Characteristics of a 40kVA Three Phase Superconducting Transformer and its parallel operation with a conventional transformer", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol.5, No.2, June 1995
- [7] N.Hayakawa, H.Kagawa, and H.Okubo, "A System Study on Superconducting Fault Current Limiting Transformer(SFCLT) with the Functions of Fault Currents Suppression and System Stability Improvement", IEEE transaction on applied superconductivity, Vol.2, No.1, March, 2001
- [8] 이재득, 박민원, 유인근 "PSCAD/EMTDC를 이용한 고온초전도 저항형 한류기 시뮬레이션" 대한 전기 학회 2002년도 하계 학술 대회 논문집, 1385~1387, 2002.7