

PSCAD/EMTDC를 이용한 SMES Component modeling에 관한 연구

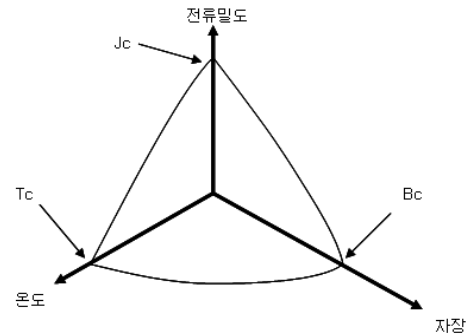
김진근*, 김재호*, 정희열*, 박민원*, 유인근*
국립 창원대학교 전기공학전문전공*

A study on the SMES component modeling using PSCAD/EMTDC

Jin-Gun Kim*, Jae-Ho Kim*, Hee-Yeol Jung*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea*

Abstract - Before applying the HTS(High Temperature Superconductor) power devices to a real utility network, system analysis should be carried out by some simulation tools. PSCAD/EMTDC simulation tool is one of the most popularized useful analysis tools for electrical power system. Unfortunately the model component for HTS coil is not provided in PSCAD/EMTDC simulation tool. In this paper, EMTDC model component for HTS coil has been developed considering real characteristics of HTS coil like critical current, temperature and magnetic field. The developed model component of HTS coil could be used for power system application. Using the developed model component for HTS coil, we can easily do the simulation of HTS power devices application test in utility with the various inductance, quench current, inner magnetic field, and temperature values, for instances: SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) system, superconducting motor, transformer, and FCL(Fault Current Limiter)

전류밀도중 어느 하나의 값이 임계값을 초과하게 되면 초전도 상태를 유지하지 못하고 상전도 상태로 변하게 된다. 그림 1에서 표시된 곡면을 벗어나게 되면 초전도상태가 깨어지게 된다. 초전도 상태에서 상전도 상태로 변하게 되면 저항이 급격하게 증가하게 된다. 초전도체가 갑자기 초전도성을 잃어버리는 것을 Quench라고 한다. Quench의 기준은 보통 $1 [\mu V/cm]$ 이다[5-6].



〈그림 1〉 초전도체의 임계곡면

1. 서 론

전력수요의 지속적인 증가와 더불어 주야간 부하의 격차가 커짐으로 부하율(평균부하/피크부하)이 점점 심화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재까지는 양수발전등을 이용하여 전력 수급을 맞추어 왔으나 입지적인 제한문제에 의해 점진적으로 늘어나는 전력 수요를 감당하기 위한 새로운 설비의 건설은 더욱 어려워 질것으로 전망된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 선진국에서는 SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) 장치의 연구가 활발히 진행되고 있다. SMES는 전기저항이 0 인 초전도체의 성질을 이용하여 초전도 마그네트 에 전류를 흘려 영구전류 특성에 의해 손실 없이 자기 에너지형태로 저장 할 수 있는 장치이다. 이러한 SMES 장치는 저장요소가 초전도 마그네트이므로 저장효율이 높고, 에너지의 저장과 방출이 매우 빠른 우수한 성능을 가지고 있으며 에너지 저장 밀도가 높으며 수명이 반 영구적이다[1-2]. 초전도 선재로 이루어진 SMES coil은 현재까지 간략화된 인덕턴스만 모의 되었으나, 실제 SMES coil은 내부저항 변화, 자기장 및 온도 등을 고려하여야 하며 전력계통 해석 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC에서 사용할 수 있는 SMES coil의 모델링 Component는 위의 모든 값들을 고려하여 만들어져야 한다. 본 논문에서는 SMES coil의 자기장 변화를 고려한 Component를 개발하였다.

2. 본 론

2.1 SMES Coil의 개념 및 원리

초전도 에너지 저장 장치는 전기저항이 0 인 초전도체의 성질을 이용하여 초전도 마그네트에 직류전류를 흘리면 자기장이 형성되어 자기 에너지 형태로 에너지를 영구전류 특성에 의해 손실 없이 저장하는 장치이다. 인덕턴스가 $L[H]$ 인 초전도 마그네트에 전류 I 를 흘리면 $w = \frac{1}{2}LI^2$ 인 자기 에너지가 마그네트 내에 저장되고, 초전도 마그네트의 전기저항이 0 이기 때문에 Joule 손실 없이 영구적으로 에너지를 보존 할 수 있다.

2.1.1 Quench 특성

초전도 현상은 어떤 온도이하, 어떤 자장이하 그리고 어떤 전류밀도 이하에서만 나타난다. 이 값들을 임계온도(T_c), 임계자장(B_c), 임계 전류밀도(J_c)라고 한다. 초전도체가 초전도 특성을 나타내기 위해서는 임계온도, 임계자장, 임계 전류밀도를 모두 초전도 조건에 맞게 갖추어야 특성을 유지 할 수 있다[3-4]. 그러나 어떤 이유에 의해서 온도, 자장,

2.2 초전도 특성을 고려한 Component model

임계온도, 임계자장, 임계전류밀도는 어떤 값으로 정해지는 것이 아니라 상호 관계를 가지고 있다. 온도가 높아질수록 임계 자장과 임계 전류밀도는 낮아지고, 자기장이 강해질수록 임계 온도와 임계 전류 밀도가 낮아지며, 전류 밀도가 높아지면 임계 온도와 임계 자장이 낮아진다. 초전도 특성을 고려한 component를 구현하기 위해 임계 자장, 임계 온도, 임계 전류밀도를 포함한 수식을 이용해야 한다.

2.2.1 온도와 임계자장의 관계

수식 (1)은 Kamerlin Onnes의 온도에 따른 임계 자장의 값을 나타낸다.

$$B_c(T) = B_{c0} \left[1 - \left(\frac{T}{T_{c0}} \right)^{1.7} \right] \quad (1)$$

시뮬레이션에 사용한 초전도체는 AMSC™의 BSCCO 선재로 가정하였다. BSCCO 계열의 선재에서 $B_{c0} = 20[T]$, $T_{c0} = 110[K]$ 으로 정해져있다. J_c 와 J_{c0} 는 AMSC™의 Data Sheet와 수식 (2), 수식 (3)을 이용하여 계산되어 진다.

〈표1〉 AMSC™ Data sheet

Minimum amperage (I_c)	average engineering current density (J_e)
125 [A]	7,300 [A/Ch^2]
135 [A]	7,900 [A/Ch^2]
145 [A]	8,500 [A/Ch^2]
155 [A]	9,100 [A/Ch^2]

$$J_c = \frac{\text{초전도선재전체의 단면적}}{\text{초전도체부분의 단면적}} \times J_e \quad (2)$$

$$J_{c0} = J_c - \left[\frac{J_c}{500} \times (T - 77) \right] \quad (3)$$

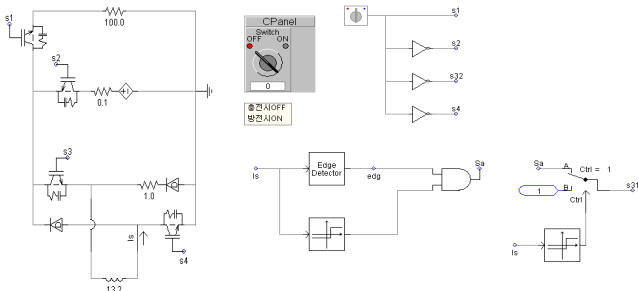
2.2.2 자기장과 온도에 의한 임계 전류 밀도의 변화

초전도체의 임계 전류는 자기장의 세기와 온도에 따라 달라지게 되는데 관계식은 수식 (4)와 같이 표현된다.

$$J_C(B, T) = J_{CO} \left(1 - \frac{B}{B_C(T)}\right) \left(1 - \frac{T}{T_{CO}}\right) \quad (4)$$

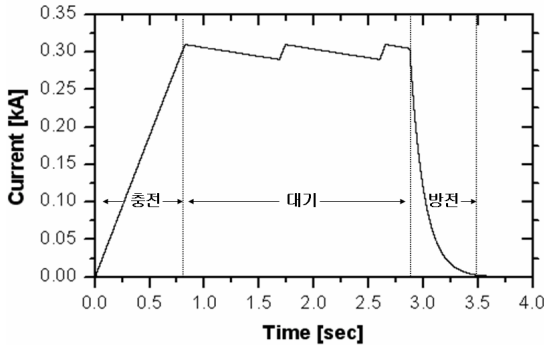
2.3 600kJ급 SMES 모델링

기존의 SMES 충방전 회로에 새로운 Component를 적용한 System의 차이를 확인하기 위해 용량 600[kJ]인 SMES 충방전 회로를 구성하였다. L은 13.2[H]로 하였고, 최대전류가 300[A]까지 통전 되도록 하였다. 초전도 선재의 특성인 AC loss를 고려하지 않아도 되도록 DC전류원을 사용하였다.



<그림 2> SMES 충방전 회로도

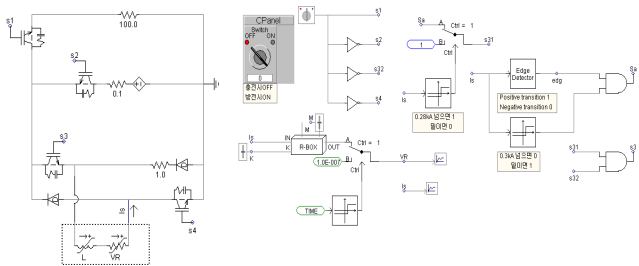
그림 2의 동작 결과는 그림 3과 같다. 300[A]가 될 때까지 충전을 한다. 충전이 되면 스위치 3이 off가 된다. 코일 이외의 부분은 초전도체가 아니기 때문에 저항으로 인한 손실이 발생한다. 그래서 280[A]까지 떨어지면 다시 충전을 시작하게 되는 논리 회로를 구성하였다. 회로의 100[Ω] 저항은 부하이다. 방전모드가 되면 300[A]의 충전 전류는 모두 부하에서 사용된다.



<그림 3> SMES 충방전 회로의 파형

2.4 초전도 특성을 고려한 SMES 모델링

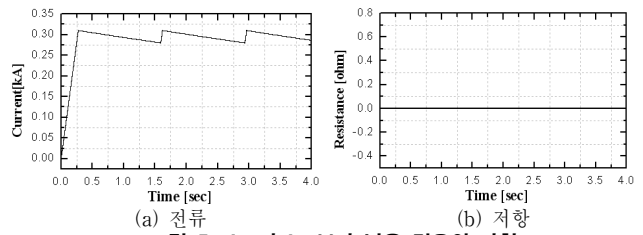
그림 4의 코일 부분은 PSCAD/EMTDC를 이용해 만든 Component이다. 입력은 전류, 온도, 자장 값이고 출력은 저항이다. PSCAD/EMTDC에서 포트란 명령어로 수식을 작성하여 Component에 적용한다. 기존의 600[kJ]급의 SMES coil에 새롭게 만든 Component를 적용하였다. 300[A]보다 큰 임계전류를 가진다면 이 System은 Quench가 발생하고, 통전전류가 300[A] 이하 일 때 이 System은 기존의 600[kJ] 급 SMES coil과 같은 동작을 할 것이다. 시뮬레이션은 통전전류가 300[A]이상일 때와 이하일 때 조건으로 수행 하였다.



<그림 4> SMES coil에 초전도 특성을 고려하여 Component를 적용

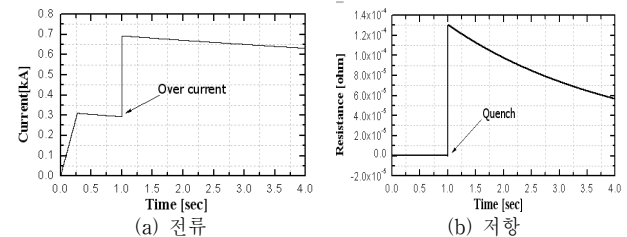
2.5 시뮬레이션 결과

SMES coil에 흐르는 전류가 임계전류 이하 일 때의 그림 5의 그래프는 기존의 600[kJ]급 SMES 회로의 동작 결과와 같은 것을 알 수 있다. 최대 충전 전류는 임계전류보다 낮은 300[A]이기 때문에 초전도 상태는 계속 유지된다.



<그림 5> Is 가 Ic 보다 낮은 경우의 파형

SMES coil에 흐르는 전류가 임계전류보다 높은 경우의 파형은 그림 6과 같다. 0-1 초 구간은 기존의 SMES coil 회로와 동일한 파형이지만 1초가 지나면 임계전류 보다 높은 전류가 SMES coil에 흐르도록 설정하였다. 그림 6(b)는 1초 지점에서 저항이 급상승 하여 초전도 상태에서 상전도 상태로 전이되는 것을 알 수 있다.



<그림 6> Is 가 Ic 보다 큰 경우의 파형

3. 결 론

계통 해석 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 SMES coil의 특성 해석을 위한 모델링 방법을 개발하였다. 정확한 모델링을 위해서 SMES coil component는 자기장의 변화를 고려하여 개발 하였다. SMES coil의 자기장 변화를 선재의 초전도 특성을 수식화 하여 Component로 만들었다. Quench 특성에 대한 시뮬레이션 결과 SMES coil에 과전류를 발생 시키면 Quench 현상이 발생 하였다. 이때 SMES의 한류 특성에 의해 과전류가 감소함을 알 수 있다. 이 논문에서는 초전도체의 자기장의 변화만 고려하여 모델링 하였다. 향후 온도 변화에 따른 초전도체의 특성을 연구하여 더욱 정확한 SMES coil component를 구현하고 실제 SMES model coil을 제작하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석 할 예정이다.

감사의 글

본 과제는 전력산업 연구개발 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다

[참 고 문 헌]

- [1] 성기철, 김해중 조전욱, 권영길, 류강식 “초전도 에너지 저장(SMES) 시스템의 개발동향” 초전도와 저온공학, Vol. NO.1 pp10-18, 2000
- [2] 산업자원부 “산업화 가능 핵심 초전도기술 분석 보고서”
- [3] M. Yamamoto, M. Yamaguchi, K. Kaiho, “Superconducting Transformers”, IEEE Transactions on power delivery, Vol.15, No.2, April,2000
- [4] Ernst Helmut Brandt, Mikhail Indenbom, “Type-II superconductor strip with current in a perpendicular magnetic field”, Physical review B, Vol.48, No.17, pp 893-906, 1993.
- [5] 이재득, 박민원, 유인근 “PSCAD/EMTDC를 이용한 고온 초전도 저항형 한류기 시뮬레이션” 대한전기학회 2002년도 하계 학술대회 논문집, 2002
- [6] Y. Shirai, K. Fujikawa, M. Shitsu, H. Hatta, S. Muroya, Nitta, “Recovery Process of a Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter”, IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol.12, No. 1, March 2002