

DC 리액터형 고온초전도한류기의 전력계통 연계를 위한 자기철심리액터의 설계

임대준*, 배덕권*, 김호민*, 이찬주*, 윤경용*, 윤용수**, 고태국*
*연세대학교 전기전자공학과, **안산공과대학 전기과

Design of the Magnetic Core Reactor for the connection to the Power System of DC Reactor Type High Temperature Superconducting Fault Current Limiter

Dae Jun Lim*, Duck Kweon Bae*, Ho Min Kim*, Chanjoo Lee*,
Kyung Yong Yoon*, Yong Soo Yoon** and Tae Kuk Ko*
*Dept. of Electrical and Electronic Engineering Yonsei University,
Dept. of Electrical Eng., Ansan College of Technology

linkdj@yonsei.ac.kr

Abstract - In this paper, the power-linking device connecting the high-Tc superconducting(HTS) coil to the power system in the DC reactor type three-phase high-Tc superconducting fault current limiter (SFCL) has been designed. This design was triggered from the concept that the magnetic energy could be exchanged into the electrical energy each other. Ferromagnetic material is used as the path of magnetic flux. The device mentioned above was named Magnetic Core Reactor(MCR). MCR was designed to minimize the voltage drop caused by copper loss. The current density of the conductor was 1.3 A/mm^2 and % voltage drop was 2%.

1. 서 론

산업사회 발전과 거대도시 형성 등에 의한 전력수요 증가가 급속도로 일어남에 따라 계통의 사고전류 또한 급속히 증대되고 있다. 신뢰성 높은 전력의 공급과 전력기기의 보호를 위해 이 사고전류는 효과적으로 차단되어야 하나 전력수요 증가에 따른 사고전류의 상승으로 현 기기의 보호에 대한 특별한 대책이 요구되는 실정이다. 그 중 하나가 현 보호기기를 유지하면서 계통의 사고전류를 효과적으로 제한하는 초전도한류기(SFCL: Superconducting Fault Current Limiter)이다.

고온초전도한류기는 크게 저항형, 유도형, 하이브리드 형으로 나누어지며 이 중 유도형은 자기차폐형, 포화 리액터형 및 DC 리액터형 초전도한류기로 나누어진다 [1]. DC 리액터형 3상 고온초전도한류기는 사고 시 초전도 코일의 인덕턴스 성분이 계통에 투입되어 사고전류를 제한하며, 각 상마다 DC 리액터의 역할을 하는 고온초전도

코일을 사용하는 방법과 하나의 코일만 사용하는 방법이 있다 [2]. 하나의 DC 리액터를 사용하여 3상 고온초전도한류기를 개발할 경우 전력변환장치와 DC 리액터 제작에 소요되는 초전도 Bi-2223 선재의 소요량을 줄일 수 있어 보다 경제적인 뿐 아니라 한류기가 차지하는 공간도 줄일 수 있는 장점이 있다. 본 논문은 DC 리액터형 3상 고온초전도한류기에서 계통의 에너지를 고온초전도 코일로 전달해주는 역할을 하는 3상 자기철심리액터(MCR: Magnetic Core Reactor)의 최적설계를 수행하였다.

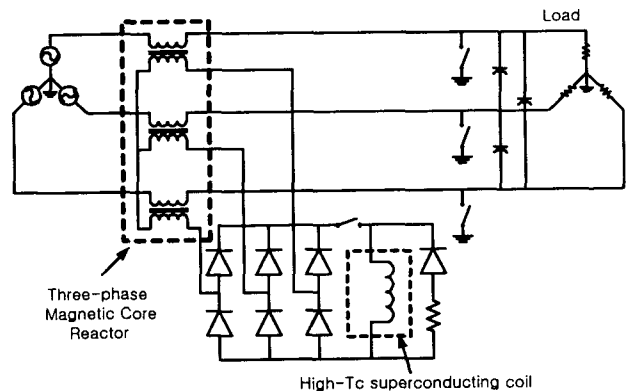


Fig. 1. MCR in the DC reactor type high-Tc SFCL

2. 본 론

2.1 자기철심리액터

그림 1은 DC 리액터형 고온초전도한류기에서 자기철심리액터의 위치를 보여준다. DC 리액터형 한류기는 정상시에는 계통에 영향을 주지 않으나, 사고 시 고온초전도 코일의 인덕턴스 성분을 계통에 투입시켜 사고전류를 제한한다. 이처]

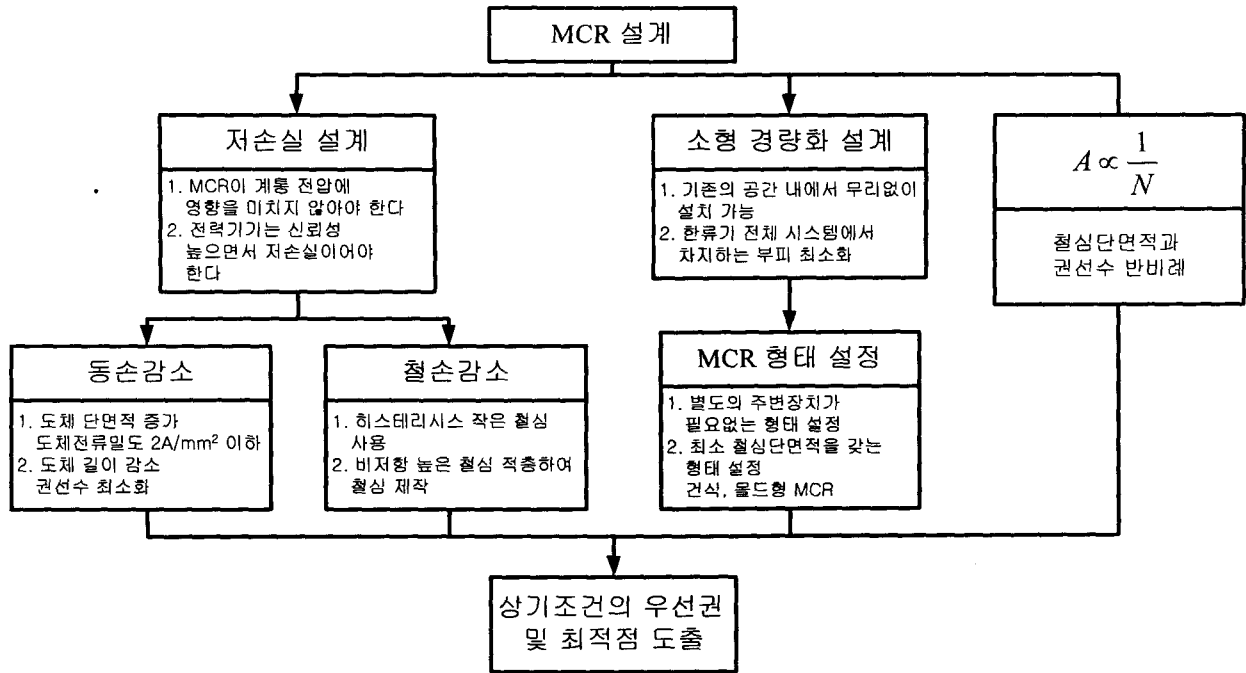


Fig. 2. Flowchart of the design

림 고온초전도 코일로 계통의 에너지만을 전달하여 줄 기기가 필요한데 전기에너지와 자기에너지가 상호 변환될 수 있는 원리를 이용하여 기기를 설계하였다. 자기회로를 구성하기 위해서 강자성체로 자속경로를 구성하여 그 이름을 자기철심리액터라 하였다.

2.2 설계 목표

그림 2는 자기철심리액터 설계의 순서도를 보여준다. 자기철심리액터의 손실 및 부피를 최소화하는 방향으로 설계를 진행하였다. 다른 전력기기와 마찬가지로 자기철심리액터의 손실은 크게 철손과 동손이 있다. 철손을 줄이기 위하여 히스테리시스 손실이 작은 규소강을 성층하여 철심을 구성하였으며 동손을 줄이기 위하여 도체의 전류밀도를 낮게 책정하였다.

규소강의 투자율이 비선형이므로 정현전압에 의해 여자되는 자기철심의 경우 전압증가에 대한 전류의 증가가 비선형적이다. 또한 정현여자에 의한 철심의 설계 자속, 권선길이 및 철심의 단면적은 아래 식 (1)과 같이 서로 반비례의 관계에 있다 [3].

$$A = \frac{E_{rms}}{4.44NB_{max}f} \quad (1)$$

여기서 A 는 철심의 단면적, E_{rms} 는 인가전압의 실효값, N 은 권선수, B_{max} 는 철심의 최대자속, f 는 전원의 주파수이다.

권선수가 의미하는 것은 동손이므로 먼저 자

기철심리액터의 % 전압강하와 철심의 최대자속을 설정한 후 철심의 단면적을 정하는 설계법을 선택하였다. 설계상의 % 전압강하 목표는 2% 이하이고 이에 따른 도체의 전류밀도도 $2A/mm^2$ 이하로 하였다.

2.3 권선 도체 설계

자기철심리액터 양단의 전압강하는 동손과 밀접한 관계가 있으므로 권선 도체의 전류밀도를 낮게 설정하여야 한다. $2.3mm \times 14mm$ 인 표준평각 구리선 2분을 사용하여 도체의 전류밀도를 $1.3A/mm^2$ 로 정하였다. 도체의 유효단면적은 $60.98mm^2$ 이다. 권선간의 절연은 절연지를 사용한 건식을 이용하였다. 향후 전압등급이 높아지게 되면 에폭시 등의 성능좋은 절연물질을 사용한 볼드형 절연도 필요할 것이다.

2.3 철심 설계

그림 3은 3상 자기철심리액터의 철심을 보여준다. 철심의 다리에 각 상의 권선을 감는다. 철심의 단면적은 권선수 및 최대자속밀도와 반비례하는 관계를 가진다. 동손을 줄이기 위하여 권선수를 작게 하는 것이 이상적이지만 그럴 경우 철심의 부피 및 무게가 상당히 커져 공간 및 경제적 문제점을 가져다 줄 수 있다. 한 예로 권선수가 10인 경우 철심의 단면적은 $1620cm^2$ 이 된다. 본 설계는 리액터 양단 전압강하 목표치를 기준으로 하여 권선수를 75로 정하였으며 이에 따른 철심의 단면적을 $231cm^2$ 이다. 표 1은 설계한 철심의 상세한 크기를 나타낸다.

Table 1. Core size of three-phase MCR

N	75
a	7.5cm
b	30.8cm
c	20cm
d	60cm
Whole	62.5cm*30.8cm*75cm

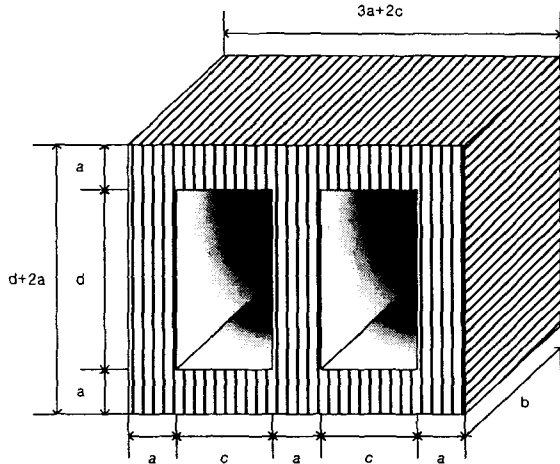


Fig. 3. Magnetic Core

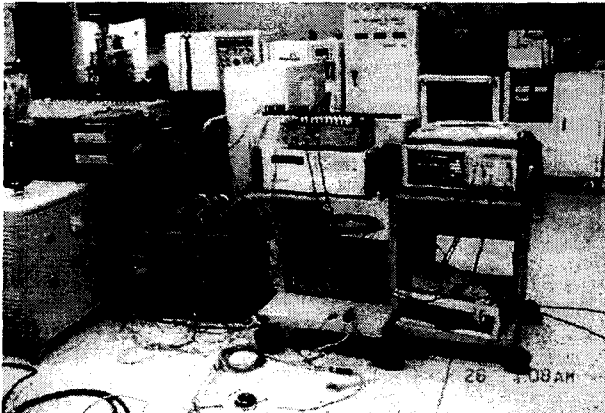


Fig. 4. Equivalent circuit test of SFCL with MCR

2.4 MCR의 한류기 모의 등가 시험

그림 4는 자기철심리액터를 사용하는 한류기에 대한 모의 등가 시험장면을 나타낸다. 자기철심리액터 2차측은 전력변환기와 고온초전도 코일의 병렬연결이므로 자기철심리액터의 2차측을 단락시켜 등가회로를 구성하였다. 실험에 사용한 프로토타입 자기철심리액터는 정격전압 220V, 정격전류 4A이다.

그림 5는 자기철심리액터의 기본 실험을 통한 등가 임피던스를 바탕으로 계산한 값과 본 실험 결과의 비교를 나타낸다. 동손에 해당하는 임피

던스는 자기철심리액터의 정격전류를 기준으로 하였고 철손에 해당하는 등가임피던스는 자기철심리액터 설계한 % 임피던스 전압강하분을 기준으로 계산하였다. 인가 전류의 변화를 주기 위하여 부하의 용량을 고정시킨 상태에서 전원전압을 변화시켰다. 실험값과 계산값이 별다른 차이를 나타내지 않으나 자기철심리액터 양단의 전압이 증가할수록 계산값과 실험값의 차이가 커졌다. 이로써 정격전류와 % 임피던스 전압강하분에 의한 값으로 등가임피던스를 계산하여야 함을 알 수 있다.

3 설계 결과 및 검토

자기에너지 전달의 원리로 계통의 에너지를 고온초전도 코일로 전달시켜주는 자기철심리액터를 설계하였으며 그 설계결과는 표 2와 같다,

자기철심리액터의 기본 역할은 에너지 전달이다.

그러나 이 역할을 수행하면서 발생하는 손실은 반드시 최소화되어야 한다. 철손의 경우 규소강의 종류와 성층 철심 및 누설자속을 줄임으로써 줄일 수 있고 동손의 경우 전류밀도와 권선수를 조절함으로써 조절할 수 있다. 한류기 모의 실험을 통하여 손실에서 동손이 큰 부분을 차지함을 확인할 수 있었고 이에 따라 동손을 최소화하기 위하여 전류밀도를 $1.3A/mm^2$ 로 설정하였다. 권선수를 줄이면 동손이 줄어드나 권선수를 줄이게 되면 반대로 철심이 커지게 되므로 자기철심리액터 양단의 전압강하가 전원전압의 2%가 되도록 설계하였다.

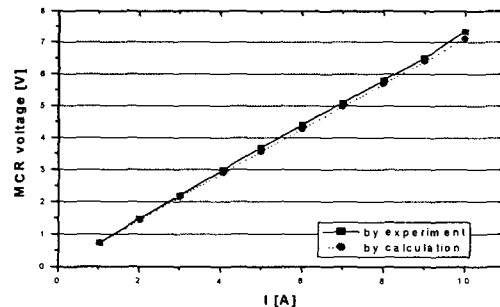


Fig. 5. Results of Equivalent circuit experiment

Table 2. Result of design

전류밀도	$1.3A/mm^2$
권선수	75
도체단면적	$60.98mm^2$
철심단면적	$231cm^2$
% 전압강하	2%

4. 결 론

DC 리액터형 3상 고온초전도한류기에 사용되는 자기철심리액터를 설계하였으며 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정상상태에서 자기철심리액터의 손실은 내부 임피던스에 의해서 결정된다
- (2) 동손은 정격전류를 기준으로 하여 결정하고 철손은 정상시의 자기철심리액터 양단전압을 기준으로 하여 설계하여야 한다.
- (3) 손실과 철심의 부피는 반비례하며, 전력기기는 장시간동안의 신뢰성 및 고효율을 요하므로 철심의 부피보다는 손실에 중점을 둔 설계를 하여야 한다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] R. F. Giese, "Fault-Current Limiters - A Second Look", International Energy Agency, march 16, 1995
- [2] E. Leung, et al., "Design & Development of a 15kV, 20kA HTS Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol 10, No. 1 March 2000, pp. 832-835
- [3] Paresh C. Sen Principles of Electric Machines and Power Electronics" JOHN WILEY & SONS, 1997, pp. 23-27