삼성 초전도 시험설비의 외부자장 발생용 자석의 자기장 해석

김상보, 王秋良, 윤천석, 방성근, 박현기, 김기만
삼성 종합 기술원, 에너지랩

Magnetic Field Analysis of Background Magnet in SSTF (Samsung Superconducting Test Facility)

S. Kim, Q. Wang, C.S. Yoon, S. Baang, H. Park, and K. Kim
Energy Laboratory, Samsung Advanced Institute of Technology

sbkim@venus.sait.samsung.co.kr

Abstract

Samsung Superconducting Test Facility (SSTF) will be built at SAIT, Taejeon. The superconducting cables to be used for KSTAR magnets are going to be tested in SSTF. The background magnet in SSTF is needed to simulate harsh magnetic environment for testing short CICC samples as well as full-scale magnets. The main coils can make central magnetic field of up to 8 Tesla and the blip coils can maintain fast ramping rate of 20T/s. The cancellation coils reduce the disturbance of main coils due to blip coils. The magnetic field distribution of these coils has been obtained with finite element method as well as the direct integration method.

1. 서 론

삼성종합기술원(대전)에 설치될 예정인 삼성 초전도 시험설비(SSTF)의 목적은 KSTAR 자석에 쓰일 초전도 선재의 시험을 위해서이다. Nb_3Sn과 NbTi의 선재를 사용하는 TF coil과 PF coil이 시험될 예정인데 짧은 샘플, model coil, 그리고 full-scale 자석의 형태로 시험될 것이다. 또, SSTF에서는 여러 종류의 CICC의 Joint부분과 액체 헬륨을 위한 절연체 등도 시험될 예정이다[1]. 이러한 시험은 KSTAR의 플라즈마 작동하의 상태와 아주 유사한 상태에서 행해져야 한다. KSTAR에서 TF coil은 약 7 Tesla에서 35KA의 전류를 흘릴 수 있어야 하고 플라즈마 시작과 플라즈마의 모양 제어 그리고 플라즈마 전류의 갑작스런 변화 등으로부터 야기된 급격히 변화하는 자기장의 영향을 견딜 수 있어야 한다. 이러한 Field를 SSTF에서 만들어 내기 위해 러시아와 삼성이 공동으로 외부자장 발생용 자석을 설계/제작 중이다[2]. Background Magnet은 Main Coil (MC), Blip Coil (BC), Cancellation Coil (CC)로 구성되며, 본 논문에서는 이 coil들의 상호작용으로 생성된 자기장의 해석을 Vector Field 사의 유한요소해석 (Finite Element Analysis)을 적용한 Opera S/W [3]와 Bio-Savart 법칙을 직접 이용한 Integration Method를 사용하였다.

2. 본 론

Background magnet의 구조 및 제원은 Fig. 1과 같다 [2].

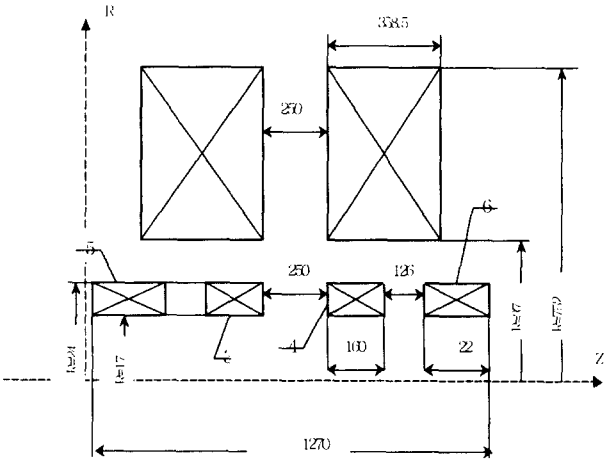

Fig.1. The configuration of background magnet. 1,2 - main coils, 3,4 - blip coils, 5,6 - cancellation coils. The current density for main, blip, cancellation coils are 3.85, 5.18, -5.18×10^7 A/m^2, respectively.

2개의 MC는 자석의 중심에서 8T까지의 자기장을, 2개의 BC는 1T의 자기장을 더 생성시킬 수 있으며, 20T/s의 ramp rate을 형성시킬 수 있다. 위의 4개의 coil로 KSTAR 플라즈마 운영환경을 만들어 낼 수 있으나, CC가 필요한 이유는

BC에서 생성된 자기장의 변화가 MC에 큰 전압을 야기시키기 때문이다. 따라서 CC는 BC와 반대 방향으로 전류를 흘려줌으로 BC의 자기장을 MC부근에서 약화시킴으로써 그 영향을 줄여준다.[4]

유한 요소 해석이란 주어진 경계조건 하에서 그 구역을 element 단위로 세분화하여, 지배방정식으로부터 주어진 관계를 수치해석으로 찾는 방법으로, 미분 방정식을 풀지 않고 적당한 물리량을 최소화하여 해를 얻는다. 비단 전자기장 뿐만이 아니라 각종 구조해석, 열유체 해석 등 일반적인 방법으로 널리 쓰이고 있다. Opera S/W에서의 유한 요소 해석이란 전자기장을 기술하는 편미분방정식에 대한 수치해를 계산하는 것이다. Opera S/W는 먼저 주어진 문제의 기하학적 모양으로부터 풀고자 하는 물리적인 양(potential)이 결정되고 경계조건을 주면 해가 나오게 된다. 주어진 문제에서는 axisymmetry가 있고 이러한 경우 수정된 r*A potential을 사용하여야 하며 extremum이 되야할 functional은 다음과 같다.

$$\Phi(U)=\frac{1}{2}\int_{\Omega}(\nabla U\cdot\nabla U-k^2U+2gU)d\Omega$$

여기서 U=rA이다.[4]

Fig. 2는 BC와 CC가 없는 상태에서 MC만이 존재할 때의 자기장 분포를 보여 준다.

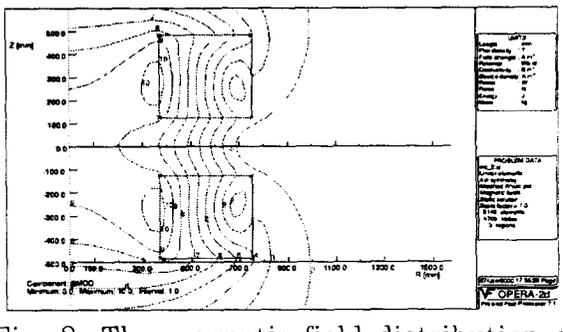

Fig. 2. The magnetic field distribution of main coils.

Fig. 2에서 Fig. 5까지는 Opera를 이용해 얻은 결과이다. Fig. 3에서는, BC만 있을 때의 자기장분포를 보여주고 Fig. 4에서는 BC와 CC가 있을 때에 만들어진 자기장 분포를 보여준다. Fig. 3과 4에서 볼 수 있는 것과 같이 CC가 존재함으로써 MC부근의 자기장이 감소했음을 알 수 있다. Fig. 5에서는 MC, BC, CC가 모두 존재할 때의 자기장 분포를 보여준다. Fig. 6은

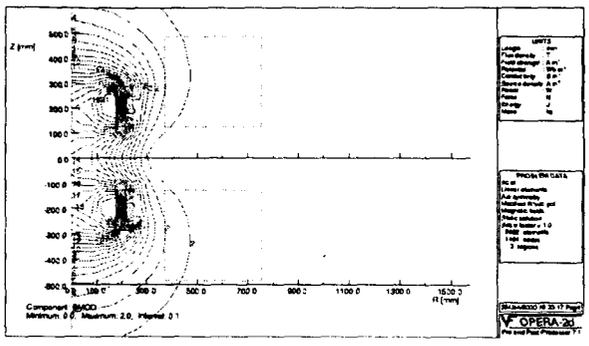

Fig. 3. The magnetic field distribution of blip coils. The main coils are shown for convenience.

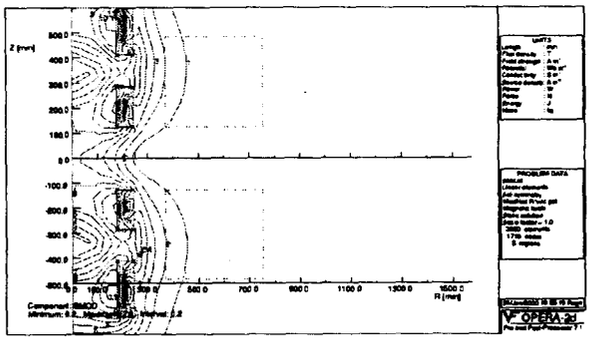

Fig. 4. The magnetic field distribution of blip and cancellation coils. The main coils are shown for convenience.

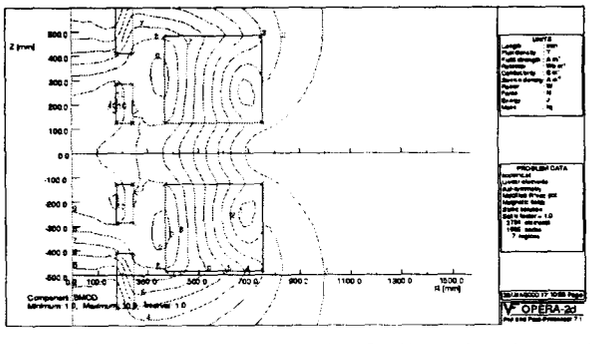

Fig. 5. The magnetic field distribution of main, blip, and cancellation coils.

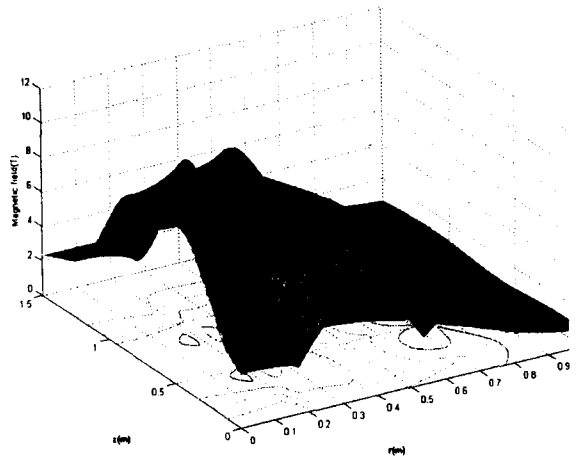

Fig. 6. The total magnetic field distribution of the background magnet obtained by direct integration method.

Bio-Savart 법칙을 적용하여 얻어진 자기장 분포이다. Fig. 5와 6의 자기장 등고선의 분포와 크기는 유사한 경향을 나타내는 것으로 보아 Opera의 결과를 검증할 수 있었다.

3. 결 론

FEM을 채택한 Opera 를 이용하여 삼성초전도자석 시험설비에 사용될 외부자장 발생용 자석의 자기장 해석을 수행하였다. 자기장 분포의 결과로 부터, CC를 사용하는 이유는 BC가 MC에 유도하는 전압을 감소시킴을 유추할 수 있었다. Bio-Savart 법칙을 적용하여 계산한 결과는 Opera 계산결과와 유사한 경향을 나타냄으로 물리적으로 타당함을 알 수 있었다. 향 후 Backgroud Magnet의 최적화 설계를 위하여 MC, BC, CC의 다양한 형상과 위치에 대한 해석을 수행하여야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 KSTAR 초전도자석 Project의 세부과제로 수행되었으며 관계자들에게 감사를 표한다.

[참 고 문 헌]

[1] Joel H. Schultz, KSTAR Full-scale conductor test requirements Rev.1, FSCT-USMIT-JHSchultz-091901, 1997.
[2] Cryomagnet-SAIT, Preliminary Design Report of SSTF Magnets, December 20 1999.
[3] Vector Fields, Opera-2d, Training Course Notes, 1999
[4] M.Polak, J.Pitel, M.Majoros, J.Kokave, D.Suchon, M,Kedrova, J.Kvikovic, IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol.5, No.2, 717, 1995