

## 3차원 자기분포해석을 이용한 고온초전도동기모터에서의 Ag/Bi-2223 Tape 및 Flux Damper의 특성해석

송명곤·윤용수\*·이상진\*\*·고태국  
연세대학교·\*안산공과대학·\*\*위덕대학교

### The Characteristic Analysis of the Ag/Bi-2223 Tape and the Flux Damper in HTS Synchronous Motor through 3-Dimensional Magnetic Field Analysis Using F.E.M

Myung Kon Song·Yong Soo Yoon\*·Sang-Jin Lee\*\*·Tae Kuk Ko  
Yonsei University·\*Ansan College of Technology·\*\*UIDUK University

koni@yonsei.ac.kr·ysyoon@intra.ansantc.ac.kr·sjlee@uiduk.ac.kr

**Abstract** - This paper deals with the characteristic analysis of the flux damper with respect to the load, and the stability of Ag/Bi-2223 tapes in a high-Tc superconducting (HTS) synchronous motor. To find out the magnetic field distribution in a detailed model of the actual motor, the experimentally measured currents of the armature and the field windings are used as input parameters. The simulation results show that the flux damper shields the time varying field up to 10%, reduces armature reactance during the motor operation and during load changes, improving the stable motor operation. And it was observed that the flux damper generates loss by means of leakage flux, but this is not significant and it doesn't degrade the performance of the HTS synchronous motor.

## 1. 서 론

본 논문은 고온초전도동기모터의 운전 시 과도 상태에서 발생하는 시변자계에 대하여 여자코일로 이용되는 고온초전도 Ag/Bi-2223 Tape선재의 안정성 유지와 플럭스댐퍼에 의한 시변자계의 차폐 정도 및 고온초전도동기모터의 동작 특성에 미치는 영향을 유한요소법을 적용하여 과도상태 시 모터내부의 자기 분포를 통하여 해석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 고온초전도동기모터의 구조

실제 제작된 고온초전도모터는 그림 1과 같은 단

면을 갖는다. 그림 1에 보는 것과 같이 전기자는 일반 상전도동기모터와 같은 규소강판을 적층하고 그 내부에 슬롯을 만들어 동선을 넣은 구조를 가진다. 회전자는 가장 외측부터 냉각 및 시변자계 차단을 위해 두께 2mm의 SUS 및 1mm의 동판을 2mm의 진공층을 사이에 두고 위치시켰다. 그리고 액체 질소가 유입되어 고온초전도 테이프선재를 초전도상태로 유지하는 실린더 내부에 자로 형성 및 여자코일의 지지를 위해 bulk 형태의 철심을 위치시켰다.

### 2.2 Flux damper 및 자기분포 해석

고온초전도동기모터의 동작은 전기자 및 여자권선에 의해 발생된 자계의 상호작용에 의해 구동된다. 모터가 정상상태로 운전하고 있을 경우는 전기자 및 여자권선에 의한 자계가 일정각을 유지하며 회전한다. 그러나 부하변동이 생기면 일정각을 유지하며 회전하던 여자권선 및 전기자권선에 의한 자계사이의 각의 크기가 증가 또는 감소한다. 이 때 모터의 내부(철심 및 공극)에 시변자계가 발생하게 된다.

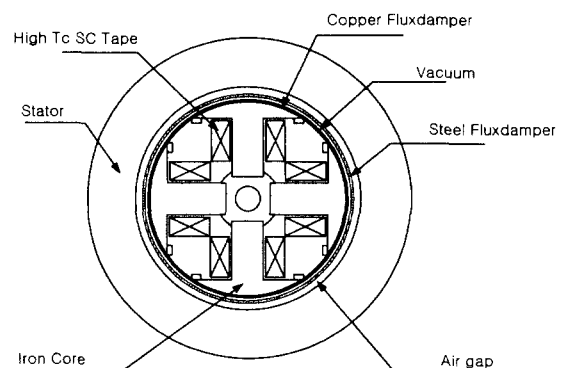


Fig.1. The structure of the motor

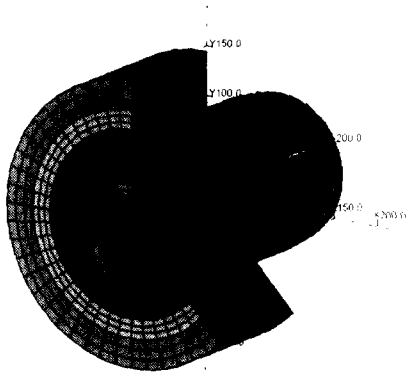


Fig.2. 3D model for F.E.M simulation

이러한 조건에서 고온초전도동기모터의 운전 중 플럭스댐퍼에 의한 시변자계의 차폐정도 및 전체 시스템의 특성에 미치는 영향과 여자코일로 사용되는 고온초전도 테이프소재의 시변자계에서의 안정적인 동작여부를 유한요소법을 적용하여 운전시의 3차원 자계분포해석을 통하여 알 수 있다. 그림 2는 3차원 자계분포해석을 위한 모델이다. 또한 자계해석을 위한 입력 값은 Table 1 과 같이 실제 고온초전도동기모터 실험에서 측정 한 전기자 및 여자코일의 입력전류 값을 취하였으며, 각 부분의 물질 상수들도 실제 제작한 값을 취하였다.

### 3. 결 론

고온초전도동기모터의 내부 자계분포를 구하는 시뮬레이션은 모터의 부하를 0에서 500Watt로 변화시켰을 때의 전기자 및 여자 전류를 입력으로 하여 수행되었다. 그림 3은 부하가 500watt 일 때의 모터내부의 자계분포이다. 그림 4는 회전자에 위치한 고온초전도 테이프소재의 단면을 나타낸 것이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 고온 초전도동기모터의 부하가 500watt일 때 공극의 가장자리 부분에서 발생하는 최대 자속밀도는 약 0.8T 임을 알 수 있다.

그림 6은 모터의 부하가 무부하에서 250watt 로 그리고 5분 후 다시 500watt로 변동되었을 때의 공극에서의 자속밀도 및 플럭스댐퍼에 의해 차폐된 자속밀도를 보여준다. 결과에서 보듯이 약 10%의 시변자계 감쇠가 보인다. 그림 7과 그림 8은 동으로 만든 플럭스댐퍼에서의 3차원 자속분포 및 와전류 분포를 각각 나타내고 있다.

Table.1. Input constants

부하	stator slot당 전류( A/turn)	초전도선재 (A · turns)	부하각
무부하	0.3056	600	0
500W	0.8666		35

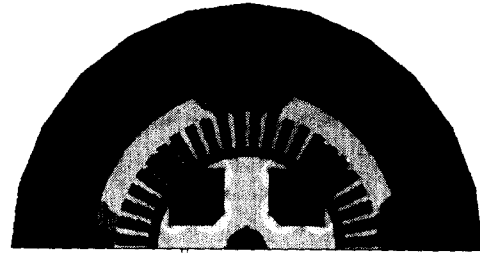


Fig.3. Magnetic field distribution at 500 W

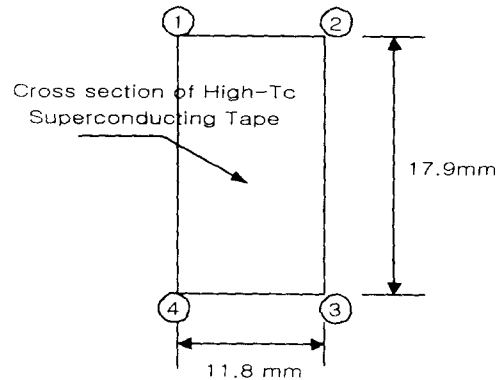


Fig.4. Location of magnetic field measurements

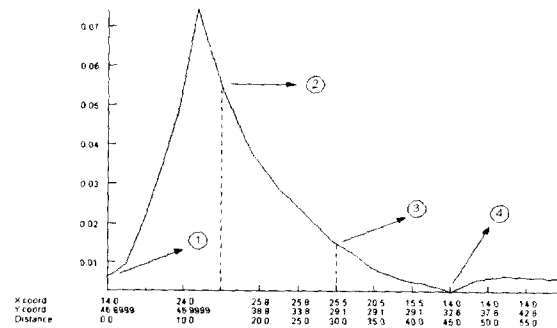


Fig.5. Magnetic flux density of HTS tape at 500W

시뮬레이션 결과에서 플럭스댐퍼에서의 손실은 약 0.12watt로 계산되었으며, 이는 모터의 출력 500watt에 비해서 상당히 작은 손실임을 알 수 있다. 위와 같은 시뮬레이션 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 최대 출력시 발생하는 내부의 자속밀도에 대해서도 여자코일로 사용되는 고온초전도 테이프소재에는 설계 시 예상한 600A · turns의 자속을 공급 할 4A의 여자 전류를 무리 없이 통전 시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 flux damper의 시변자계 차단효과는 2.5Hz 주파수를 가진 자계에 대해서는 약 10%, 60Hz의 자계에 대해서는 약 70%의 차폐효과가 있으며, flux damper에서의 손실은 모터의 출력에 미치는 영향은 거의 없으며, 모터 운전 중 과도상태시 armature reaction을 감소 시켜 주는 역할을 함을 알 수 있었다.

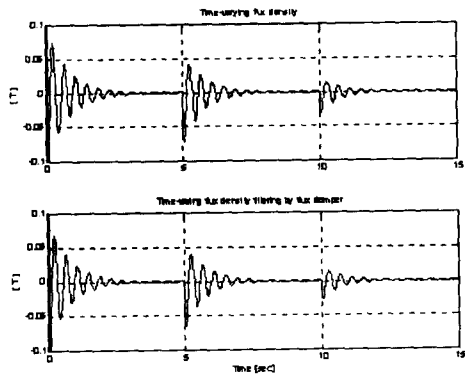


Fig.6. The flux change in the air gap

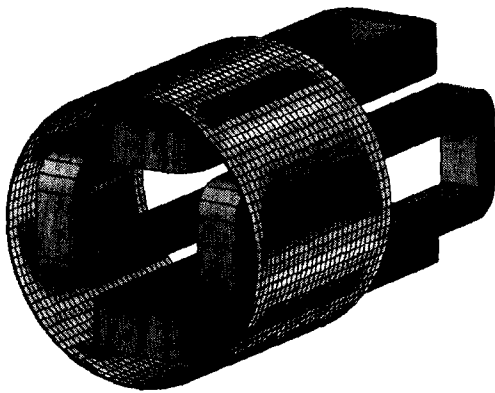


Fig.7. 3D flux density distribution on the copper flux damper

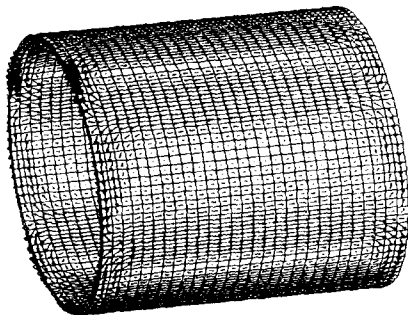


Fig.8. 3D eddy currents distribution on the copper flux damper

본 연구는 학술진흥재단에 의하여  
지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

**(참 고 문 헌)**

[1] M K Song, Y S Yoon, I B Jang , T K Ko, "The Design, Manufacture and Characteristic Experiment of a Small-Scaled High-Tc Superconducting Synchronous Motor", IEEE Transaction. on Applied Superconductivity, vol.9, no.2, pp.1241-1244, 1999.

[2] Simon Foner and Brian B. Schwartz. Superconducting Machines and Devices. Plenum Press, New York, chap.5. 1974  
 [3] 임달호, 전기계의 유한요소법, 동명사, 제 3, 9장, 1992  
 [4] M. Oomen, J. Rieger, M. Legghissa & H. Kate. "Magnetic ac loss in multi-filamentary Bi-2223/Ag tapes", Physica C 290 pp 281-290, 1997  
 [5] M. Sugimoto, A. Kimura, M. Mimura and Y. Tanaka. "Electromagnetic inter-filament coupling of silver sheathed Bi-2223 multi-filamentary tapes in transverse AC magnetic fields", Physica C 279 pp 225-232, 1996