

†, *, *, *, *, *

Identification of Mechanical Characteristics of Superconductor Journal Bearing

H.J. Yun[†], Y.H. Han^{*}, S.C. Han^{*}, N.H. Jeong^{*}, J. Kim^{*} and T.H. Sung^{*}

Key Words: High Tc Superconductor Journal Bearing, Flywheel Energy Storage System,
Frozen Image Model

Abstract

For designing high Tc superconductor journal bearing(HTSJB) which is used on a flywheel energy storage system which requests the free of the bearing loss caused by the friction, it is necessary to understand the basic characteristics of the classical superconductor journal bearing because the mechanical characteristics of the HTSJB are identified by the magnetic relationships between the permanent magnet(PM) and the high Tc superconductor(HTS). In this paper, using the method, frozen image model, the force problems between the PM and the HTS were solved and then the dynamic characteristics of the rotor inside of the HTSJB can be expected in advance by using the basic characteristics between the PM and the HTS. The coefficient of friction of the HTSJB was measured in the vacuum environment. From the results, the mechanical characteristics of HTSJB can be identified using the numerical models.

m : 쌍극자 모멘트 수직방향 휨성분
 θ : 수직방향에 대한 쌍극자 방향성 각도
 z : HTS 표면에서 쌍극자까지 수직방향 거리
 μ_0 : 투자율

1.

고온초전도 벌크는 자속을 통과시키지 않고, 일단 침입한 자속은 빠져나가지 못하도록 자속 고정점에 고정하려는 성질을 갖는다. 이 특성을 이용한 고온 초전도 저널베어링은 로터와 비접촉

상태이기에 베어링 부위에 마찰손실이 없고 자속 고정점에 의해 능동제어 장치가 필요없는 특성을 갖는다[1,2]. 고온 초전도 저널 베어링의 기계적 특성은 고온 초전도체와 영구자석간 자기적 관계에 의해 비접촉 상태에서 특성을 나타냄으로 자기적 수치계산 모델을 이용하여 베어링의 기계적 특성을 얻었고 베어링이 최대 부양력을 갖도록 고온초전도 벌크에 맞는 로터의 형상을 구하였다. 또한 수치계산값은 실제 측정값과 비교하였다. 고온 초전도 저널베어링의 기계적 특성을 얻기 위해 Maxwell 3D xlrator 를 이용하여 회전속도에 대한 로터의 고유진동수 변화를 확인함으로써 강제모드와 Bending Mode 가 생성되는 공진주파수 영역을 예측할 수 있었다. 풍손에 대한 손실을 제거한 진공환경에서 로터를 회전시켜 다시 정지시키는 과정에서 베어링 부위의 마찰계수를 측정하여 고온 초전도 저널베어링의 기계적 특성을 고찰하였다.

2.

2.1

†

E-mail : heejoong@kepri.re.kr
 TEL : (042)865-5979 FAX : (042)865-5639

*

mm, 20 mm, 10 mm
 cooling 4 mm
 2.64 kg/mm

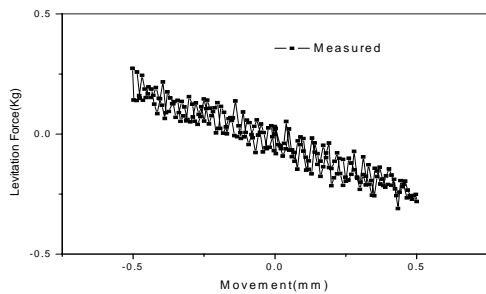


Fig. 1 Measured levitation force vs. movement

Fig. 2

, Fig. 1

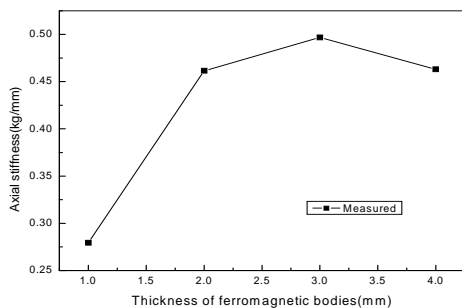


Fig. 2 Measured axial stiffness vs. the thickness of ferromagnetic bodies

강자성체 두께가 3 mm ! 때 최대 축방향 강성은 2.98 kg/mm Fig. 2 결과를 통해 최대 축방향 강성을 가지는 고온 초전도 저널 베어링에 적합한 로터의 최적치를 찾을 수 있었다.

2.2

고온 초전도 저널베어링 강성은 고온 초전도체와 영구자석간 자기적 관계를 통해서 계산되어질 수 있는데 이러한 자기적 관계는 자속을 통과시키지 않고, 일단 침입한 자속은 빠져나가지 못하게 고정하려는 고온 초전도 현상을 냉각 후 고온초전도체 안에 두 개의 가상자석이 존재하여 인력과 척력이 공존하는 현상으로 표현한 Frozen Image Model : 통해 고온초전도체와 영구자석간 복잡한 자기적 관계를 자석간 자기장 해석방법으로 접근함으로써 간단히 해를 구하였다. Fig. 3 : Frozen Image Model | 대한 계략도이며 박스모양안쪽의 화살표는 자석의 착자 방향을 뜻한다.

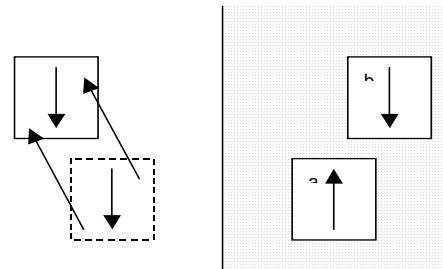


Fig. 3 Frozen image model in which a superconductor is changed by two imaginary magnets after field cooling

Frozen Image Model | 대한 전체 강성은 고온 초전도체 위에 있는 영구자석과 두 개의 가상자석간의 자기적 관계를 통해서 식 (1) ! 표현되어진다[3,4].

$$K = -\frac{3\mu_0 m^2}{\pi(2z)^5} [2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta] \quad (1)$$

Fig. 4 : 실제 측정값과 수치계산값을 비교한 값으로 축방향 이동에 따른 부상력의 변화를 나타내고 있다[5].

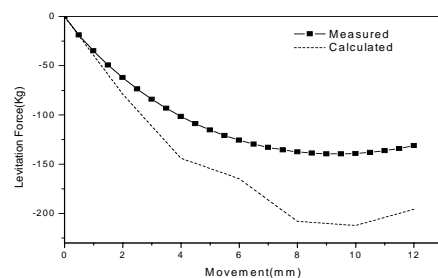


Fig. 4 Measured and calculated levitation force vs. movement

실제 측정값과 수치계산값의 오차는 실제 실험에 사용된 영구자석의 Br 값과 수치계산에 사용된 영구자석 모델의 Br 값의 차이에 의해 나타나는 오차로 판단 되어진다.

Fig. 5 : 강자성체 두께에 따른 고온 초전도 저널 베어링 강성변화에 대한 수치계산값을 Fig. 2 | 실제 측정값과 비교한 것으로 결과값 경향이 잘 일치함을 보여준다.

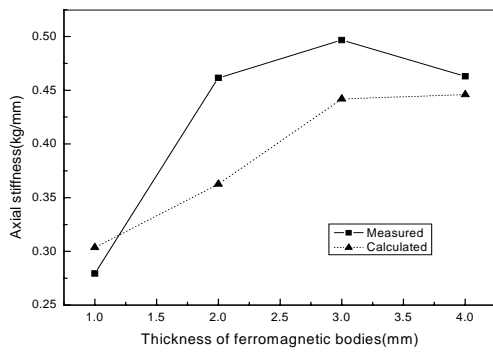


Fig. 5 Measured and calculated axial stiffness vs. the thickness of ferromagnetic bodies

수치계산 모델에 사용된 영구자석의 Br 1.1 T

3.

3.1

가

Eddy Current Loss

Hysteresis Loss가

가

가

0.5 m torr

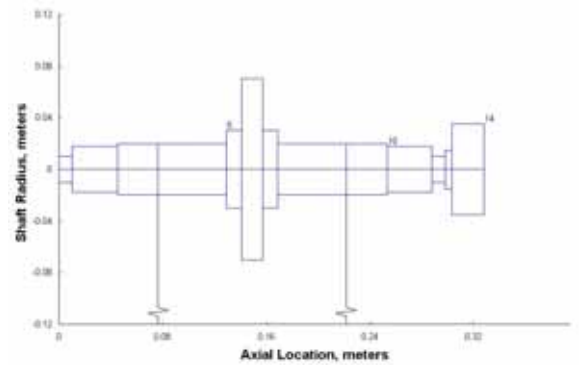


Fig. 6 The Geometry of the rotor

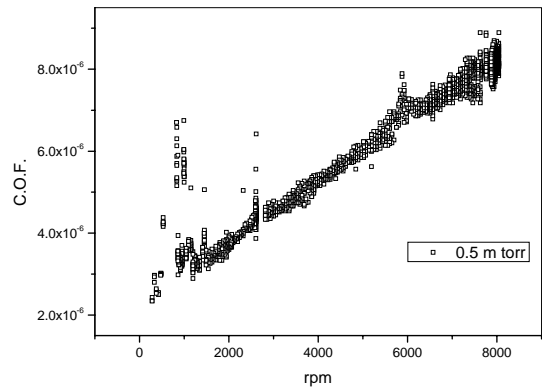


Fig. 7 Measured coefficient of friction(C.O.F.) of high Tc Superconductor bearing(HTS)

Fig. 7을 살펴보면 약 600 rpm 부근에서 마찰계수 값이 갑자기 증가하는 현상이 보이는데 이는 로터의 운전속도와 로터와 고온 초전도 저널베어링계의 고유진동수와 만나는 곳으로 공진주파수 영역으로 판단되며 속도에 선형적으로 비례하는 마찰계수증가는 회전자와 고온 초전도 저널베어링간 발생하는 Eddy Current Loss를 잘 나타내고 있다.

3.2

Stainless Steel Motor

Fig. 6

Fig. 6 Aluminum

[6].

Fig. 7은 로터의 회전속도에 따른 고온 초전도 저널베어링의 마찰계수 변화를 나타낸 것이다.

가
가

1.82 kg/mm

Fig. 8

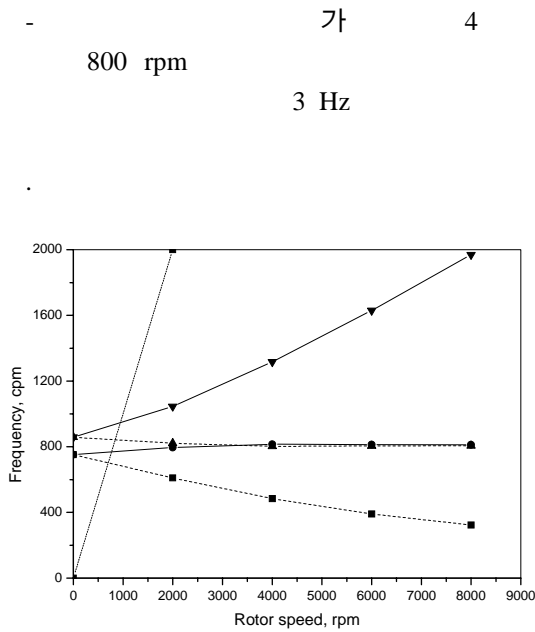


Fig. 8 The natural frequency of the rotor(cpm) vs. the operational speed(rpm)

4.

1.

가

Frozen Image Model

2.

3.

1 Bending Mode

4.

(1) M.Komori, S. Matsuoka, and S. Fukata. 1996. Development of a hybrid-type superconducting magnetic bearing system. Applied Superconductivity. Vol. 4. 253-259.

(2) Sang-Kyu Choi, Sang-Chul Han, Nyeon-Ho Jeong, Tae-Hyun Sung. 2003. On the dynamic behavior of a flywheel rotor system mounted on high Tc superconductor journal bearings. 2003년도 회전기관관련 국가지정연구실 논문집. 117-119.

(3) Ahmet Cansiz. 2003. Correlation between free oscillation frequency and stiffness in high temperature superconducting bearings. Physica C. 390. 356-362.

(4) John R. Hull, and Ahmet Cansiz. 1999. Vertical and lateral forces between a permanent magnet and a High-Temperature Superconductor. J. Appl. Phys. 86, 6396-6404.

(5) 정년호, 성태현, 한용희, 한병성, 한상철, 한영희, 윤희중, 박병삼, 오제명. 2003. Development of a Flywheel Energy Storage System Using Hybrid Bearing Set. 2003년도 회전기관관련 국가지정연구실 논문집. 128-131.

(6) Thomas M. Mulcahy, John R. Hull, Kenneth L. Uherka, and Ralph C. Niemann. 1999. Flywheel Energy Storage Advances Using HTS Bearings. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. Vol. 9. 297-300.