

35 kWh 급 플라이휠 적용을 위한 초전도 베어링의 특성 연구

Application of superconductor bearing for 35 kWh Flywheel Energy Storage System

박병준† · 한상철* · 정세용* · 한상진* · 배용채* · 유승열** · 한영희*

Byung Jun Park, Sang Chul Han, Se Yong Jung, Sang Jin Han, Young-chaе Bae, Seong-yeol Yoo, Young Hee Han

1. 서 론

초전도 플라이휠 에너지 저장장치(Superconductor Flywheel Energy Storage System, SFES)는 전기에너지를 회전에 의한 운동에너지의 형태로 저장하는 기계식 에너지 저장시스템이다. SFES 는 전기를 저장하는 플라이휠과 고속회전 에너지를 제공하는 모터, 휠을 지지하는 베어링, 회전에너지를 전기 에너지로 바꾸어 주는 발전기로 구성되어 있으며 급속 충방전이 가능하고 수명이 길다는 장점을 가지고 있어 신재생 에너지의 저장매체로서 각광을 받고 있다. 특히 플라이휠에 적용되는 초전도 베어링은 무접촉으로 휠을 지지하여 각종 마찰손실을 줄일 수 있고, 고속회전을 가능케 하므로 에너지 저장효율이 높으며 저장밀도가 높다는 장점이 있다. 초전도 베어링(Superconductor Bearing)은 극저온 상태의 초전도체와 자석 회전자 사이의 자기력에 의해 휠을 지지하게 되며 특별한 운전조작이 필요 없이 휠을 지지할 수 있으며 무정전 상태에서 지속적으로 에너지를 저장할 수 있어 다른 플라이휠 시스템과 비교되는 중요한 특징을 가지고 있다. 초전도 베어링은 초전도체를 고정하는 베어링 고정자와 플라이휠에 일체형으로 장착되는 영구자석 로터, 베어링 고정자를 프레임에 연결하는 베어링 지지대로 구성되어 있으며 자장설계에 따라 베어링 기계적 특성이 최적화 되게 된다. 본 연구에서는 실제 제작된 35 kWh급 초전도

플라이휠 시스템에 대하여 운전 전에 초전도 베어링의 지지 특성을 파악하기 위하여 실제 플라이휠에서 일어날수 있는 흔들림과 유사한 조건으로 강성 특성을 알아 보았다. Fig. 1은 실제 제작된 35 kWh급 초전도 플라이휠의 단면을 보여주고 있으며 SFES 의 회전체의 중앙에는 허브를 장착한 복합재료 플라이휠이 구성 되어 있고, 회전체의 반경방향 움직임은 상부와 하부에 위치한 초전도 베어링 및 전자석 댐퍼(Active Magnetic Damper, AMD)에 의해 지지된다.

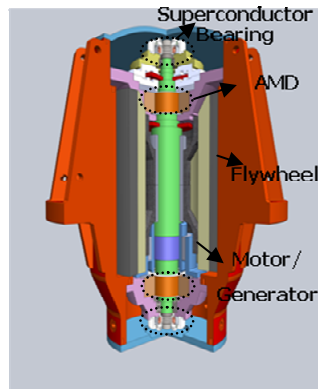


Fig. 1. A schematic design of SFES

2. 제작 및 실험

Fig. 2 는 SFES 에 적용되는 초전도 베어링의 제작 사진을 보여 주고 있다. 초전도 베어링의 기계적 특성은 베어링을 구성하고 있는 초전도체 제조 특성에 의하여 대다수가 결정이 되나 베어링의 shape, 온도, 로터와의 field cooling 위치 등의 장착조건에 따라서도 주요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 초전도 베어링의 기계적 특성을 파악하기 위해 장착된 SFES의 회전체를 AMD로 제어하여 자유응답특성을 파악하였다.

† 교신저자; 한국전력공사 전력연구원

E-mail : hampstead@kepco.co.kr

Tel : + 82428655337, Fax : + 82428655202

* 한국전력공사 전력연구원

** 충남대학교 첨단수송체연구소

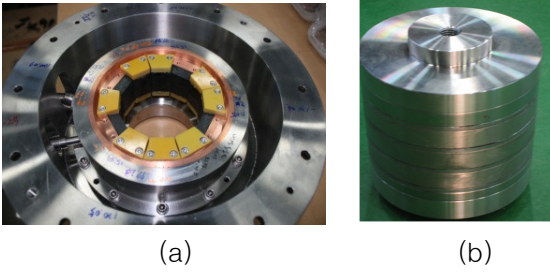


Fig. 2 Superconductor bearing (a) stator (b) rotor

평가에 사용된 AMD는 회전체의 상하부에 장착되어 있는 두 쌍의 반경방향 센서를 통해 회전체의 위치를 측정하여 제어입력으로 받아 회전체에 힘을 가하게 된다. 우선 회전체를 축방향 자기베어링을 이용하여 부상시킨 후, 회전체의 하부를 하부 AMD로 고정시키고 상부에 위치한 AMD를 이용하여 회전체를 0°, 90°, 180°, 270° 방향으로 각각 0.2mm 가량 당겨오도록 자기력을 가한 후 제거하는 방식으로 자유응답 결과의 특성을 파악 하였다. Fig. 3 은 0° 방향에서 AMD를 통해 회전체를 당긴 후 힘을 제거했을 때, 시간에 따라 변하는 회전체의 변위를 보여 주고 있다

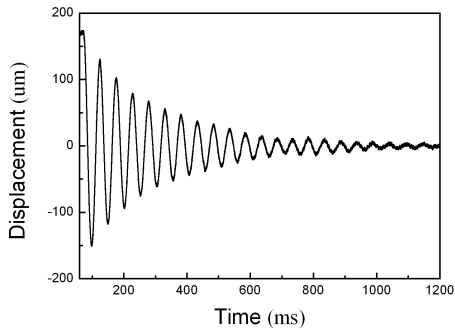


Fig. 3 Response of an underdamped system

상부 AMD에 의해 힘이 가해질 때, 회전축은 외팔보처럼 움직이게 되어 회전운동을 하지만, 회전축의 길이에 비해 극히 미량이므로 회전체의 움직임을 반경방향으로 직선운동을 한다고 가정하면 (1)과 같이 운동방정식을 유도할 수 있으며, 강성계수를 평가할 수 있다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{1}{N} \ln \left(\frac{X_1}{X_{N+1}} \right) = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}; \quad \xi = \frac{\delta/2\pi}{\sqrt{1+(\delta/2\pi)^2}} \quad (3)$$

이때 m 은 질량, x 는 변위, c : 감쇠계수, k : 강성계수, δ : 대수 감쇠율, ξ : 감쇠비, N : 주기, X : 진폭 을 나타낸다

Fig.4 는 Fig. 3의 실험결과를 이용하여 주어진 각 방향에서 초전도 베어링의 강성계수를 계산한 결과이다.

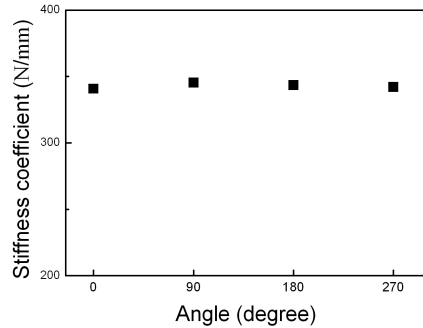


Fig. 4 Stiffness coefficient results of superconductor bearing with respect to the angles

Fig.4 에서 확인 할 수 있듯이 제작된 초전도 베어링의 강성은 주어진 방향에서 1% 이내의 편차를 보이며 매우 균일한 특성을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 초전도 벌크당 평균 28 N/mm의 강성으로 계산될 수 있다.

3. 결 론

35 kWh 급 플라이휠 적용을 위한 초전도 베어링의 기계적 특성을 평가하기 위하여 회전체의 자유응답결과를 통하여 강성을 평가 하였다. 실험 결과 초전도 베어링의 반경방향 0°, 90°, 180°, 270° 에서 매우 균일한 강성특성을 보여 주는 것을 확인 하였다. 이러한 결과를 응용하여 35 kWh 급 플라이휠에 초전도 베어링 장착에 따른 운전조건 최적화하여 효율적으로 플라이휠을 부상시킬 수 있으며, 안정적인 SFES 제작하는데 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.