

플라이휠 에너지 저장 장치용 영구자석 베어링의 부하용량 측정 실험

Load Capacity Test of Permanent Magnet Bearing for Flywheel Energy Storage System

이학인† · 배용채* · 이옥륜* · 김희수*

Hakin Lee, Young-Chae Bae, Wook-Ryun Lee, Hee-Soo Kim

1. 서 론

이산화탄소 저감의 필요성이 대두 되면서 환경 친화적 에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고 이에 맞추어 에너지 저장 기술에서도 화학적 배터리를 대신 할 수 있는 플라이휠 에너지 저장 장치의 개발이 이루어지고 있다.

플라이휠 에너지 저장 장치는 재생되거나 잉여 생산되는 전기에너지를 손실이 작은 회전체에 기계적인 회전 에너지로 저장해 두고 필요시에 다시 회전 에너지를 전기에너지로 변환하여 사용할 수 있는 장치이다. 플라이휠 에너지 저장 장치를 개발함에 있어서 주요기술로 모터/발전기, 자기 베어링, 복합재 등 기초 기술부터 고부가 가치의 기술까지 산업 전반의 기술이 집약되었다고 할 수 있다.

자기 베어링 시스템은 플라이휠 에너지 저장 장치에서 기계적 베어링을 대신하여 손실을 줄여 주고 축계의 동적 특성에 있어서 강성을 변화 시켜 회전시 발생하는 시스템의 진동을 제어 해 줄 수 있다. 그러나 자기 베어링은 기계적 마찰에서 생기는 손실은 없지만 코일 손실, 히스테리시스 손실, 와전류 손실, 자기 포화와 같은 변수들이 설계 값에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 플라이휠 부하에 맞게 설계된 자기 베어링에 있어서 정적 부하용량이 설계 값과 실험값의 비교를 해 보았다.

2. 본 론

자기 베어링은 플라이휠의 3축을 제어해 주기 위해서 반경방향의 자기 베어링과 축방향의 자기 베어링이 사용된다. 본 시스템에서는 플라이휠이 지표면과 수직인 축을 가지고 회전 하므로 축 방향 자기 베어링이 하중을 부양한다.

표. 1 영구자석 베어링의 축방향 힘

Air gap(mm)	Axial Force(N)	
	FEM	Experiment
1.5	5358	4630
2	4655	3967

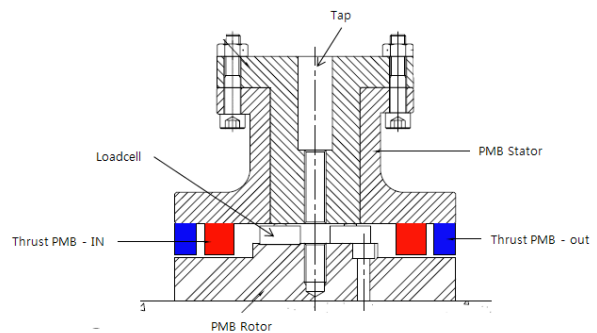


그림. 1 볼트를 이용한 영구 자석형 자기 베어링의 부하용량 측정 장치

축 방향 자기 베어링은 크게 능동형 자기 베어링과 수동형 자기 베어링 2가지를 사용하였다. 수동형 자기 베어링은 영구자석을 이용하여 하중을 부양 시켜주어 기저 전력소모를 줄여 주게 되고, 능동형 자기 베어링은 축방향의 움직임을 제어해 주는 역할을 해준다.

영구자석형 수동형 자기 베어링은 표. 1에서와 같이 유한 요소 해석을 통하여 1.5 mm 공극에서 플라이휠의 하중의 대부분을 지지 해 줄 수 있는 힘 5358 N을 얻을 수 있었다.

그림. 1은 공극에서 영구자석에 의하여 생성되는 힘을 측정하는 장치이다. 본 측정 장치는 영구자석(PM), 영구자석 고정자(PMB Stator), 영구자석 회전자(PMB Rotor)와 힘을 측정하기 위한 센서로 로드셀로 구성되어 졌다. 영구자석의 큰 힘을 축방향으로 미세하게 제어해주고 움직여 줄 수 있는 역할로는 나사산을 사용하여 상판을 회전 시켜 관통하여 움직일 수 있게 하여 하판으로 붙게 만들어 주었다. 그러나 좁은 공극 내에서의 영구자석의 힘은 가파르게 커지기 때문에 나사산의 피치와 미세한 공차에 의하여 강한 고정력을 가지지 못했다. 영구자석은 기울어지게 되어서 영구자석 회

† 교신저자; 한전전력연구원 수화력발전연구
구소

E-mail : hilee@cnu.ac.kr

Tel : (042) 865-5628, Fax : (042) 865-5627

* 한전전력연구원 수화력발전연구구소

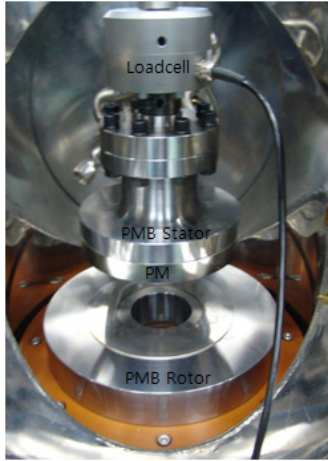


그림 2. 인스트론 장비를 이용한 영구자석의 부하용량 측정 장치

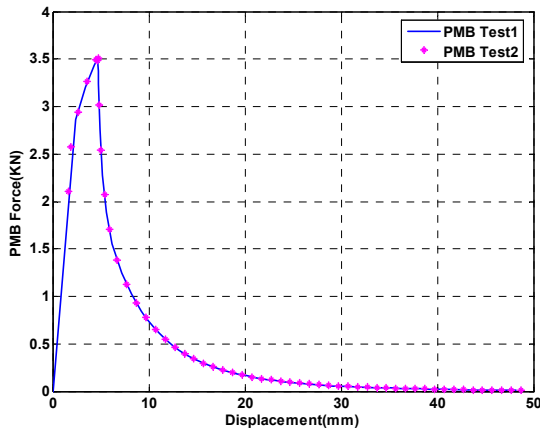


그림 3 인스트론 장비의 영구자석 베어링 성능 측정 실패

전자와 가까운 부분의 힘이 더 커져 한쪽으로 계속 기울어 평행을 이루지 못하는 문제가 있었다. 본 실험 장치를 통하여 영구자석 자기 베어링의 실험을 위해서는 영구자석과 자성체의 면을 맞추기 위해서 영구자석에서 내어주는 힘을 고정 시킬 수 있고, 큰 힘을 움직여 줌으로써 제어 해 주기가 어려웠다.

그림. 2는 로드셀이 설치된 인스트론 장비를 사용하여 실험하는 장치이다. 위쪽에서는 10 KN의 힘으로 들어 올려 줄 수 있고 아래쪽에는 정반이 자리 잡고 있다. 인스트론 장비는 미세한 변위를 주면서 큰 힘을 고정할 수 있는 장치이다.

그림. 3은 그림 2의 실험 장치를 사용하여 실험을 한 결과 그래프이다. 영구자석이 영구자석 회전자에 약 20 mm 근처에서부터 힘이 가파르게 상승하였다. 실험도중 약 4.7mm에서 측정이 불가 하였다. 3500N의 힘 이상이 되면 인스트론 장비에 고정된 실험 장치가 따라 올라가는 현상이 동일하게 일어났다.

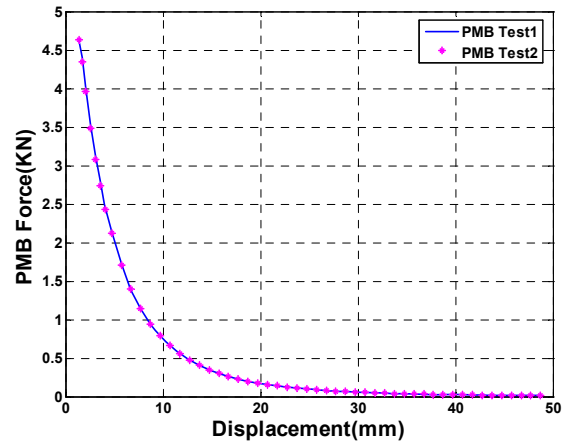


그림. 4 변위에 대한 영구자석형 자기베어링의 힘 그래프

그림. 4는 실험장치의 고정 장치를 추가하고 인스트론 장치로 공극에서의 변위를 주어 가며 확인 해 본 그래프이다. 표. 1에서와 같이 공극이 1.5 mm 일때 측정된 영구자석의 힘은 4700 N으로 유한요소 해석을 통한 설계값에 비하여 약 88%가량 일치 하였다. 영구자석을 이용하여 플라이휠의 무게를 부양 시켜줄 수 있다면 부족한 힘은 능동형 축방향 자기 베어링의 용량에 의해 지탱 되어질 수 있다.

4. 결 론

플라이휠 에너지 저장 장치용 자기 베어링의 성능 실험을 통한 유한 요소 방법을 이용한 설계 값과 비교하여 증명 해 보았다. 설계 값과는 다르게 오차가 약 12%의 오차를 보였다. 영구 자석은 제작된 자석의 자속과 설계상의 B-H 곡선의 차이와 제작에 따른 오차로 보인다. 영구자석 자기 베어링의 부족한 힘은 기저 전력이 커지는 단점을 가지지만 능동형 자기 베어링으로 보정해줄 수 있고 공극을 설계 값 보다 작게 조절 하여 사용할 수 있다.

플라이휠 에너지 저장 장치에 사용 되는 자기 베어링의 성능을 설계 값과 실험과의 오차를 보정하는 실험이 검증이 된 부하용량 측정 실험 장치를 통해 확인함으로써 플라이휠 시스템의 제어기 설계에 반영 될 수 있다.

5. 후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원 전력산업연구개발 사업에서 지원하는 “100kWh 초전도 플라이휠 에너지 저장 시스템의 회전체 진동 제어 기술 개발” 과제 수행 과정에서 산출된 결과이다.