

대용량 FESS 회전축계 모드 해석에 대한 고찰

A Study on the Rotor's Modal Analysis of the Large Flywheel Energy Storage System

이옥륜† · 김희수* · 이두영* · 배용채*

Lee Wook-Ryun, Kim Hee-Soo, Lee Doo-Young and Bae Yong-Chae

1. 서 론

플라이휠 에너지 저장 장치(FESS, Flywheel Energy Storage System)는 전기에너지를 회전관성을 이용하여 운동에너지로 변환하여 저장하는 기계적 에너지 저장 장치로, 크게 플라이휠을 포함한 회전체부, 전기에너지와 회전운동에너지 간의 상호 변환을 위한 전동발전기 및 회전체를 지지하고 진동을 제어하는 베어링부로 구성된다. 회전체부는 에너지 저장의 효율화를 위해 공기 마찰을 최소화하는 방법으로 진공 속에서 회전을 하며 베어링부는 기존 접촉식이 아닌 전자석 베어링이나 초전도 베어링 등의 비접촉식을 사용한다. 회전부는 세부적으로 중심축, 비접촉식 베어링의 회전부, 전동발전기 회전부, 플라이휠 그리고 플라이휠과 중심축 사이의 연결부(통상 허브(Hub)라 칭한다.)로 구성되며 전체 구성품이 열간 또는 냉간 열박음으로 억지끼움을 하여 결합한다. 회전부의 최종조립에 대한 모드 해석이 필요하며, 특히 굽힘모드가 발생하는 주파수에 따라 운전하는 회전수 범위를 설정해야 하므로 설계 시 모드 해석은 최대한 정확히 예측하여야 한다.

2. 본 론

2.1 FESS 개요

본 연구에 사용되는 FESS는 저장용량 35 kWh 및 출력 350 kW 정도를 가지는 대용량으로 시스템 안전성 측면에서 굽힘모드 이전에서 운전하도록 설

계되어졌으며 최대운전속도는 12,000 rpm으로 설정하였다. 이는 사용될 재료들의 특성과 크기를 고려하여 결정되었다. 그리고 비접촉식 베어링으로는 전자석 베어링(AMB, Active Magnetic Bearing)을 사용하였고 플라이휠은 탄소섬유를 포함한 복합재료로 구성되었다.

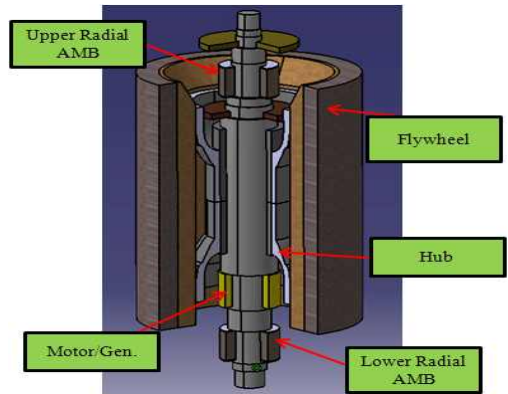


Fig. 1 대용량 FESS 회전부 구성도

2.2 모드 해석

회전축의 설계과정에서 다양한 방법으로 수행하게 되는데, 중심축을 기준으로 결합된 전자석 베어링 등의 여러 구성요소들의 결합방법에 따라 해석 결과에 큰 영향을 미친다. 특히 전자석베어링 및 전동발전기는 축방향으로 넓은 분포로 접촉하고 있어 실제 결합인 열팽창에 의한 억지끼움은 축에 대한 부가 질량 뿐만 아니라 부가 강성도 어느 정도 작용할 것이다. 또한 축에 결합된 구성품들이 완전 결합된 일체가 아니므로 결합시에 적용할 결속방법(또는 구속방법)을 최적화하는 것이 중요하다. 따라서 대표적인 두 방법인 부가질량을 주는 방법과 Rough 접촉조건의 Full Model로 검토하였고, ANSYS Workbench V12를 통해 해석을 수행하였다.

† 교신저자; 정회원, 한전전력연구원
E-mail : maerong@kepri.re.kr
Tel : 042-865-5622, Fax : 042-865-5627
* 한전전력연구원

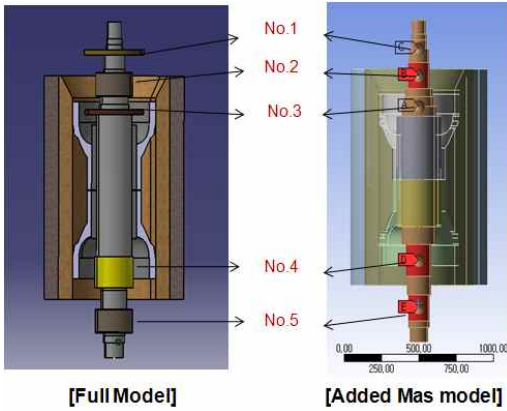


Fig. 2 FESS 해석모델

(1) Modal Analysis for Added Mass Model

Fig 2의 우측과 같이 억지끼움된 5개의 부속품들을 부가질량만을 고려하여 해석을 한 결과 Fig 3과 같이 상부 254 Hz, 하부 224 Hz에서 굽힘모드가 발생하였다. 이 결과 운전최고 속도인 12,000 rpm (= 200 Hz)보다 10% 이상 떨어진 결과로 나타났다.

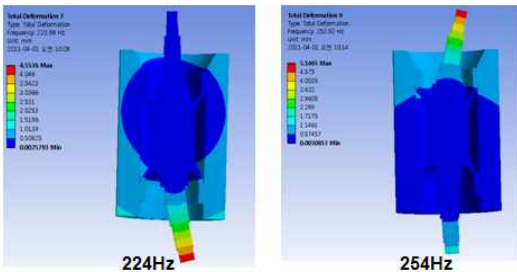


Fig. 3 Added Mass 해석결과

(2) Modal Analysis for Full Model

Fig 2의 좌측과 같이 5개의 억지끼움 부속품들을 모두 모델링하여 해석한 결과 Fig. 4와 같이 상부 270 Hz, 하부 248 Hz에서 굽힘모드가 발생하였다.

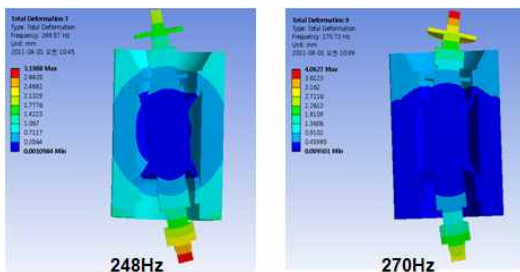


Fig. 4 Full Model 해석결과

(3) 해석결과

상기 2가지 방법으로 해석한 결과 열간 또는 냉간 억지끼움에 대한 설계의 범위를 알 수 있었다. 회전부 상부는 254 ~ 270 Hz로 운전속도에 안전한 영역에 있으며, 하부도 224 ~ 248 Hz로 운전속도보다 다소 높은 곳에 위치하여 안전하다고 판단된다. 따라서 본 해석 결과를 토대로 제작을 진행하였다

(4) 모드 시험

제작, 조립된 회전부에 대해 Fig. 5와 같이 40개 절점으로 모드를 구한 결과 220 Hz에서 발생되어 제작이 설계대로 된 것으로 판단된다.

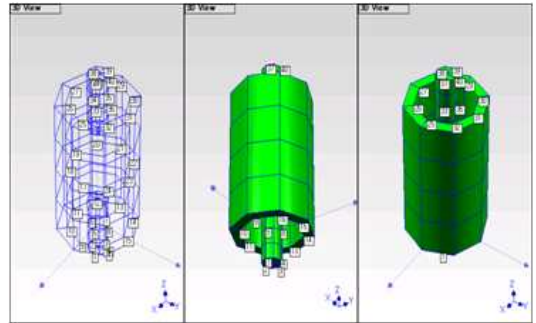


Fig. 5 Impact Test 측정지점 (40절점)

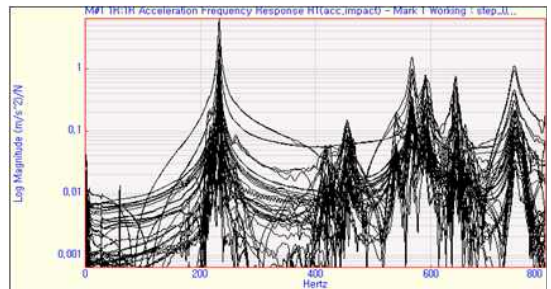


Fig. 6 FRF 곡선

(5) 검토 결과

제작된 회전부가 부품별 가공오차와 조립에 대한 오차로 인해 설계에서의 부가질량 해석보다 4 Hz 낮은 것으로 측정되었다. 이는 해석의 오류보다 제작, 조립사의 오차와 사용된 재질, 특히 대부분의 질량을 차지하는 복합재의 정확한 재료 특성을 반영하지 못한 것 때문으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 재원으로 전력산업연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구사업의 결과물임.