

플라이휠 에너지 저장 장치의 회전 동특성 해석을 위한 2D 모델링 방법 제시

The Suggestion of 2D Modelling Method for the Rotor Dynamic Analysis of Flywheel Energy Storage System

구동식*·배용채**·이옥륜**·최병근†

Dong Sik Gu, Yong Chae Bae, Wook Ryun Lee and Byeong Keun Choi

1. 서 론

FESS(Flywheel Energy Storage System)란 잉여 전기 에너지를 회전 운동에너지로 저장한 후 필요시 다시 전기 에너지로 변환하여 사용하는 장치로, 무정전 전원장치로 이용하거나 발전소에서 잉여전력 저장의 용도로 사용할 수 있다. 다시 말해, 전기에너지를 모터에 의해 에너지가 저장되는 원판의 회전체를 돌려 회전운동에너지 상태로 저장해 두었다가 필요시 에너지가 저장되어 있는 회전체로부터 발전기를 작동시켜 전기에너지로 사용할 수 있게 되어 있는 에너지 저장 장치이다.

FESS는 일반적으로 플라이휠, 허브, 축, 초전도 추력베어링, 전자기베어링, 케이싱 등으로 구성되어 있다. FESS의 중심 부분인 플라이휠은 큰 에너지를 저장하기 위해 높은 질량관성을 가지도록 설계된다. 또한 높은 에너지를 저장하기 위해 회전속도 역시 하기 때문에 플라이휠은 특수한 복합재를 사용하여 제작되고 있다.

본 논문에서는 FESS의 모델을 2D로 쉽게 모델링할 수 있으며, 그 시간 또한 상용 소프트웨어에 비해 상당부분 단축할 수 있는 모델링 기법을 제시한다.

2. 2D 모델링 방법

Fig. 1과 같이 플라이휠이 결합되어 있는 샤프트에 대하여 단면을 바탕으로 축 방향으로 요소(Element) 및 노드(Node)들이 나누어지게 된다. 이 방법은 기존의 스팀터빈이나 가스터빈 등의 동특성 분석을 위해 주로 사용된 FEM법을 FESS에 적합하도록 개량된 방법이라 할 수 있다.

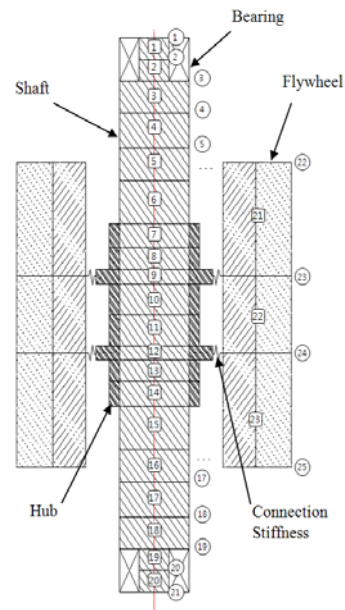


Fig. 1 2D 모델링 방법 예시

플라이휠은 Fig. 1에서와 같이 허브 또는 샤프트에 접하지 않는 부분이 존재하기 때문에, 제 2의 샤프트로 입력하게 되며, 노드와 요소의 번호는 샤프트에 이어서 정의된다.

또한, 두 샤프트가 서로 접하게 되는 부분에 노드를 생성하여, 해당 노드에 체결강성을 입력하게 된다. 체결강성은 모델의 강성 매트릭스에서 각 체결노드에 해당하는 위치에 추가된다.

그리고 본 2D 모델링 방법은 각 요소의 강성을 정의하기 위해 요소의 강성 직경에 대한 정보를 입력하게 된다. 일반적으로 임의의 요소와 임의의 요소의 전후 요소들의 형상 직경이 동일할 때, 임의의 요소의 강성 직경은 형상 직경과 동일하게 입력해도 무관하다. 하지만 Fig. 1의 2번과 3번 요소와 같이 변단을 가지는 부분에 대한 강성 직경은 형상 직경과 달라진다. 따라서 Fig. 1의 3번 요소와 같은 부분의 직경은 Fig. 2에서 제시하는 방법에 의해 유효 강성 직경을 계산하여 해당 요소의 강성 직경으로 입력하게 된다.

† 교신저자; 경상대학교 해양산업연구소
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr
Tel : (055) 640-3186, Fax : (055) 640-3188

* 경상대학교 대학원

** 한국전력연구원

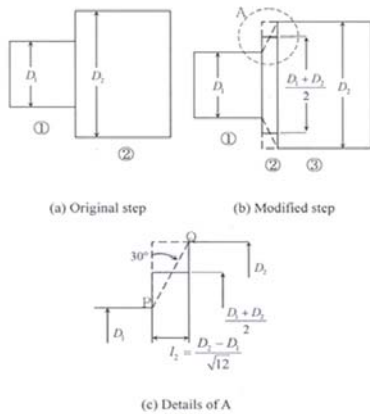


Fig. 2 유효 강성 직경 평가 방법

3. FESS 모델

3.1 모델링

본 연구에 사용된 FESS 모델은 샤프트, 허브, 2개 층의 플라이휠 및 전자기 베어링으로 구성되어 있다.

샤프트의 길이는 1,119mm이며, 플라이휠의 최대 직경은 594mm, 최소 직경 341mm, 길이 700mm이다.

플라이휠과 허브 사이의 체결강성은 Fig. 4와 같이 체결부의 단면과 가장 유사한 형태인 곡선을 가지는 빔의 강성값을 계산하여 적용하였다

최종적으로 제시된 모델링 방법을 이용하여 상기의 FESS를 모델링한 결과, 샤프트는 총 92개의 요소로 나뉘어졌으며, 샤프트의 요소에 허브가 포함되었다. 플라이휠은 18개의 요소로 분할되었고, 총 2개의 노드에 체결강성이 적용되었다.

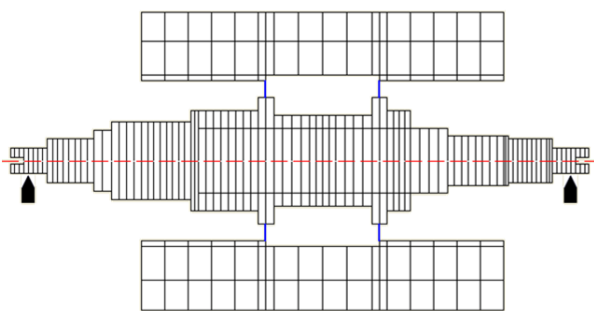


Fig. 3 FESS의 2D 모델

3.2 해석결과

Table 1은 상기의 FESS 모델을 3D 기반의 상용 해석 프로그램(MSC. Nastra, Ansys)을 이용한 해석 결과와 본 연구에서 제시한 2D 모델을 위한 Matlab 기반의 프로그램을 통한 해석 결과를 나타낸다.

Table 1 해석 결과 비교

분류	MSC. Nastran	Ansys	2D FEM
1차 굽힘	529.4 Hz 688.9 Hz	586 Hz 722 Hz	563.2 Hz 735.7 Hz
2차 굽힘	1,744.2 Hz	1,850 Hz	1,326.05 Hz

해석을 위해 소요된 시간은 MSC. Nastran이 746초, ANSYS는 2,362초가 걸렸으나 2D 모델을 이용한 해석은 10초 이내인 것을 확인하였다. 시간적인 측면에서는 본 연구에서 제시한 2D 모델링 방법이 월등히 뛰어나다고 할 수 있다.

Table 3에서 알 수 있듯이, 3D와 2D에서 첫 번째 굽힘 모드는 2개의 값으로 나타났다. 이는 Fig. 3에서 허브를 중심으로 샤프트의 좌측과 우측의 직경이 다르기 때문에, 두 직경에 대한 1차 굽힘 모드가 발생하여 합성된 것으로 사료된다. 즉, 샤프트의 좌측 직경은 156mm, 우측은 130mm이기 때문에, 플라이휠에 의해 샤프트의 중앙이 고정되는 효과를 가지게 되면 2개의 1차 굽힘 모드가 발생할 가능성이 있다. 또한 세 프로그램에 의한 해석 결과 1차 모드와 2차 모드의 해석 값이 모두 유사함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 제안된 모델링 기법을 실제 제작된 FESS의 고유치 해석을 위해 적용하였으며, 그 해석 결과의 타당성을 알아보기 위해 3D FEM법을 기반으로 하는 상용 수치해석 프로그램과 그 결과를 비교하였다. 또한, 모든 해석 결과를 실제와의 오차를 알아보기 위해 Modal Test를 통한 실험 결과와 비교하였다.

그 결과 2D 모델과 3D 모델 모두에서 2가지의 1차 굽힘 모드 값을 나타내었으며, Modal Test 역시 동일한 결과를 나타내었다.

Modal Test 결과와 해석 결과의 차이는 있으나, 세 프로그램의 해석 결과는 모두 유사하기 때문에, 2D 모델 방법은 상용 3D 프로그램과 비교할 때 해석 과정 중 모델의 수정 및 재해석 과정에 대한 시간적 측면에서 매우 유리하며, 본 연구에서 제시한 방법은 회전체 동특성 해석 분야에서 매우 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 BK21 친환경에너지기계연구사업팀 및 한국전력연구원 수화력발전연구소 (제CX73-09-0046호)의 지원으로 수행되었음.