

MAC 을 이용한 캠벨선도의 모드정렬 방법 연구

Mode Pairing Method by Using MAC in the Campbell Diagram

임중혁* · 김민성* · 정진태† · 이규호** · 박철준**

Jong-hyuk Lim, Min-sung Kim, Jin-tai Chung, Gyu-ho Lee and Chul-jun Park

1. 서 론

산업체에서 사용되는 대부분의 대형 회전축계 시스템은 회전축(rotor)과 그것을 지지하는 저널베어링(journal bearing)으로 구성되어 있다. 저널베어링으로 지지된 회전축의 경우 회전속도에 따라 전향휘돌림, 후향휘돌림 모드가 변화하는 양상이 나타난다. 회전축의 고유진동수 변화양상은 운전영역 설정과 다른 가진원이 되는 회전축 형상 설계를 위해서 반드시 정확한 해석검증이 필요한 부분이다. 캠벨선도(campbell diagram)는 축의 회전속도에 따른 고유진동수의 변화를 보여주는 그래프이며 컴퓨터를 이용한 수치적 계산을 수행할 때 고유진동수가 잘못된 방향으로 나아가는 문제점이 나타난다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 고유모드의 유사성을 이용한 고유진동수를 정렬하는 방법이 연구되어 왔다. 고유진동수에 따라 나타나는 고유모드의 유사성을 확인하기 위한 방법중의 일부로 기존에 사용되어 왔던 MAC(Modal Assurance Criterion)이 있다. MAC 은 복소 고유모드벡터와 켈레복소 고유모드벡터를 이용하여 모드의 유사성을 정량적으로 평가하는 식으로 MAC 값이 0 에 가까울수록 모드의 유사성이 적고 1 에 가까울수록 모드의 유사성이 커진다. 본 연구에서는 저널베어링으로 지지된 실제 전동기를 대상으로 이론해석 모델을 수립하였다. 먼저 Timoshenko beam 이론을 사용하여 회전축계 모델을 수립하였고, 레이놀즈 방정식을 수치적으로 계산하여 산출된 저널베어링의 상당 강성 및 감쇠를 회전축계 모델에 적용하였다. 수립된 모델을 이용하여 캠벨선도를 산출하였다. 산출된 캠벨선도는 MAC

을 이용한 모드규명을 통해 캠벨선도의 고유진동수 정렬을 수행하였다.

2. 이론 해석

2.1 회전축계의 유한요소 해석 모델

실제 전동기에 사용되는 회전축은 Timoshenko beam 이론을 사용하여 모델링 하였다. Fig. 1은 실제 전동기의 유한요소해석 모델을 나타낸다. 해석모델은 축 요소 73개, 디스크 요소 11개, 두 개의 저널베어링은 13번, 61번 절점에 위치한다.

2.2 저널베어링의 상당 강성 및 감쇠

레이놀즈 방정식의 수치적 계산을 수행하여 상당 강성과 감쇠를 계산하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 본 연구를 통해 산출된 저널의 편심비에 따른 무차원 상당 강성과 감쇠를 나타낸다.

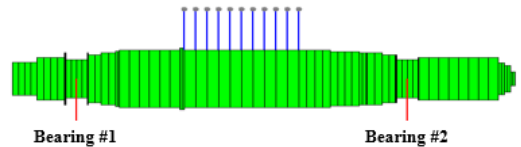


Fig. 1 Analytical model for the electric motor

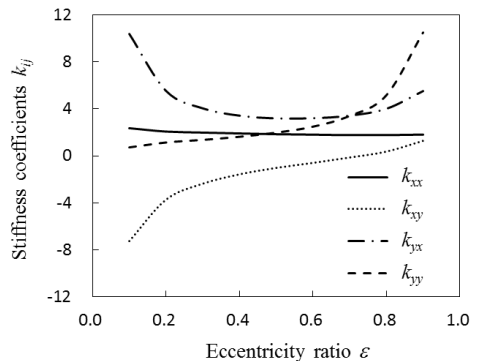


Fig. 2 Dimensionless stiffness coefficients

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학과

E-mail : jchung@hanyang.ac.kr

Tel : (031) 400-5287 , Fax : (031) 406-5550

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 효성중공업

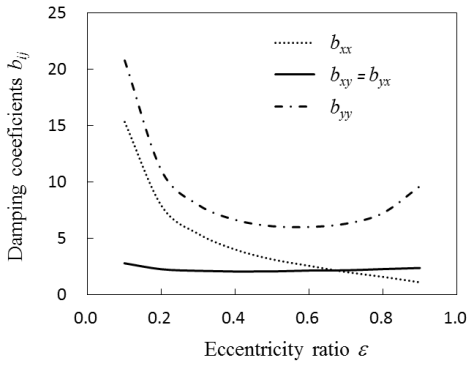


Fig. 3 Dimensionless damping coefficients

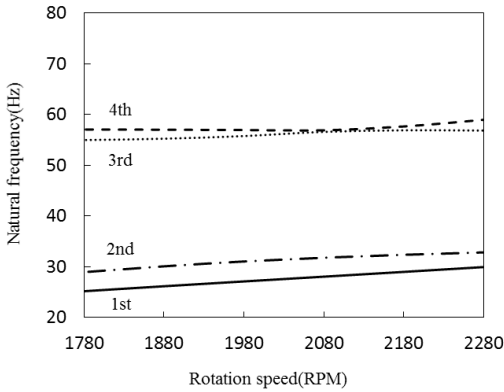


Fig. 4 Campbell diagram without the mode pairing process

3. 캠벨선도의 모드규명

앞서 수립된 모델을 이용하여 캠벨선도를 산출하였다. Fig. 4에 나타냈듯이 캠벨선도의 고유진동수가 서로 교차할 때 급격한 변화가 생기는 양상을 볼 수 있다. 이러한 현상을 규명하기 위해 고유진동수 교차가 일어나는 회전속도들의 일부분인 2080RPM와 2180RPM의 고유모드를 이용하여 MAC값을 산출하였다. 서로 다른 두 영역의 회전속도에 대한 MAC값은 Table 1과 같다. Table 1에서 가로방향 선도는 2080RPM에서의 1~4번째 고유진동수 선도, 그리고 세로방향의 선도는 2180RPM에서의 1~4번째 고유진동수 선도를 나타낸다. 계산결과는 대각항의 MAC값이 1에 가까운 수치가 나와야 한다. 하지만 대각항의 3번째는 0인 수치가 산출되어 모드정렬 문제를 확인하였다. 이를 통해 MAC값이 서로 1에 가까운 수치로 산출되는 모드를 찾아 교환해주는 방법을 적용하였다. 제안된 방법을 이용하여 캠벨선도의 고유진동수를 정렬하면 Fig. 5과 같은 고유진동수가 정렬된 캠벨선도를 산출할 수 있다.

Table 1 MAC value

Line	1st	2nd	3rd	4th
1st	1.0	0.0	0.0	0.1
2nd	0.0	1.0	0.0	0.2
3rd	0.1	0.2	0.0	1.0
4th	0.0	0.0	1.0	0.0

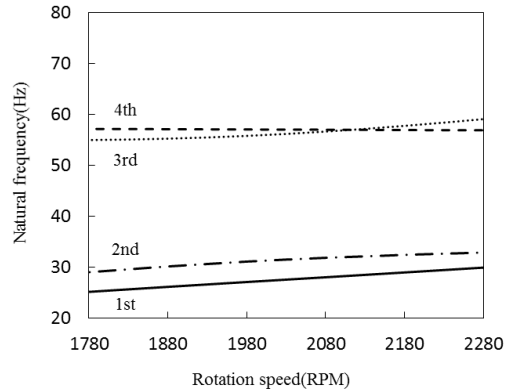


Fig. 5 Campbell diagram with the mode pairing process

4. 결 론

본 연구에서는 실제전동기 모델을 대상으로 저널 베어링으로 지지된 회전축계 이론해석 모델을 수립하였다. 수립된 이론해석 모델의 회전속도에 따른 고유진동수 변화를 확인하기 위하여 캠벨선도를 산출하였다. 산출된 캠벨선도의 고유진동수가 서로 교차할 때 급격히 바뀌는 것을 확인하여 MAC을 이용한 모드규명을 수행하였다. 모드규명 결과로 고유진동수 선도가 교차할 때 급격히 바뀌는 것은 실제로 앞뒤 모드의 유사성이 전혀 맞지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 MAC값을 통해 고유진동수를 교환해주는 정렬 방법을 적용하여 올바른 캠벨선도를 산출할 수 있었다.

본 연구의 모드정렬된 캠벨선도를 이용하여 실제 운전속도 영역에서의 회전속도가 영향을 주는 고유모드를 보다 정확히 판별할 수 있고, 이를 통한 회전축계 시스템의 공진회피 설계에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 2011-0017408)