등가 스프링 요소를 이용한 다단 축 동적 모델 개선에 관한 연구

최성환*(삼성탈레스,금오공대원), 강중옥(금오공대원), 홍성욱(금오공대)

주제어 : Multi-stepped shaft(다단 축), Timoshenko shaft(티모센코 축), Stress concentration(응력집중), Natural frequency(고유진동수), Flexibility(유연성), Finite element method(유한요소법)

회전축계는 발전기의 터빈이나 가스터빈 그리고 항공기의 회전익, 선박, 자동차등 산업전반에 널리 사용되어지고 있다. 이러한 회전축계의 안정성 확보와 성능향상을 위해서는 정확한 동적 모델링이 필요하며 지금까지 많은 연구가 되어 왔다.

일반적으로 회전축계의 동특성 이론 모델은 회전관성, 자이로모멘트, 전단변형을 포함하는 티모센코 축 요소를 널리 사용하고 있으며, 많은 연구를 통해 그 유용성이 입증되어 왔다. 그러나 티모센코 축 이론은 축의 경계조건의 전단면이 균일하게 적용될 때 그 응용이 가능하며, 그와 같은 경계조건을 만족하지 않은 일반적인 환경에서 사용되는 경우에는 오차가 발생할 가능성이 크다. 특히 단면의 형상이나 크기가 다른 축이 결합된 형태의 구조에서는 큰 오차가 발생된다.

본 논문은 다단축과 같은 단면 요소의 불연속적인 결합의 모델링에 있어 발생하게 되는 티모센코 축 이론의 오차를 개선하기 위해 단면의 불연속성이 발생하는 구간에 평균 각 변화에 대한 굽힘 등가 스프링 요소를 적용하여 요소의 불연속면에 대한 오차를 개선하는 방법을 제안하고 있다. 먼저 티모센코 축 이론에 의해 모델링된 다단 축을 유한요소 해석을 통하여 각 모드별 고유진동수를 구하였다. 이때 티모센코 축 이론에 의한 모델링 방법은 다단 축에 있어서 단차가 있는 부위에는 자유단면이 존재하게 되고, 이 부분에서 강성의 저하를 발생시키며 해석 값에 대한 오차를 유발한다. 이를 보완하기 위해 결합부위를 중심으로 축 부분의 강성 감소 효과를 나타낼 수 있는 등가 굽힘 스프링 모델링 방법을 도입하였으며, 등가 굽힘 스프링의 탄성계수는 유한요소모델의 계산을 근거하여 결정하였다. 이를 위해 단면의 경계조건이 변하는 요소를 위한 강성 보정 함수를 제시하고 이 보정 함수를 등가 굽힘 스프링 상수의 변수로 활용하여 해석의 정확도를 높이고자 하였다.

본 논문에서는 단순한 형태인 2단 축에 대한 해석을 상용코드, 제안된 방법, 티모센코 이론에 의한 해석 결과에 대한 오차를 비교하였다. Table 1은 오차를 비교하고 있다. Fig. 1은 2단 축에 대한 상용코드를 이용한 모델링 및 해석 결과이다. 보다 일반적인 유용성을 확인하기 위하여 3단축의 해석을 수행하고 단의 위치를 변경하여 제안된 방법으로 수행하였다.

Table 1 Comparison of 1^{st} natural frequencies by I-DEAS, the proposed method and Timoshenko theory (R1=25, L=300mm)

	Natual frequencies (Hz)			Error(%)	
r=	I	P	T	|I-P|/I	|I-T|/I
(R1-R2)/R1	I-DEAS	Proposed	Timoshenko	x100	x100
0.1	2239.8	2237.1	2254.5	0.12	0.66
0.2	2042.1	2039.4	2074.9	0.14	1.61
0.3	1794.7	1792.2	1843.7	0.14	2.73
0.4	1511.5	1509.3	1567.2	0.15	3.68

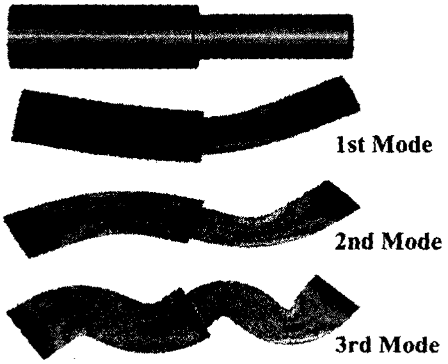

Fig. 1 First three bending mode shapes of 2-stepped shaft