

상용 S/W를 이용한 스피indle용 고속 유도전동기의 동적 구조해석 및 검증

Dynamic Structural Analysis and Verification of High Speed Induction Motor for Spindle Using Commerical Software

*#홍도관, 최재학, 주대석, 우병철, 구대현

*#D. K. Hong(dkhong@keri.re.kr), J. H. Choi, D. S. Joo, B. C. Woo, and D. H. Koo
한국전기연구원 전동력연구센터

Key words : Copper Die Casting High Speed Induction Motor, Critical Speed, Unbalance Vibration Response

1. 서론

국내 유도전동기의 70% 이상을 차지하는 30kW 이하 고속, 고효율 유도전동기에 대해 동다이캐스팅 기술을 적용함으로써 회전자 동손이 낮아져 회전자 발열이 줄어들어 알루미늄 다이캐스팅 유도전동기보다 약 5℃ (7kW motor) 정도 온도가 낮아지므로 전동기 수명이 연장된다. 동다이캐스팅 유도전동기의 경우 기존 알루미늄 전동기와 비교해 볼 때 약 2~3% 에너지 절감효과가 있으며 전동기 크기를 대폭 줄일 수가 있어 재료비 경감 효과도 얻을 수 있다.

본 논문에서는 다중게이트방식을 적용한 30kW 이하 3상 고속, 고효율 유도전동기를 개발하기 위하여 필수적으로 검토해야 하는 동적 구조해석에 대한 검증을 목표로 하였다. 동적 구조해석에 사용된 소프트웨어는 ansys와 samcef를 이용하였으며, 캠벨선도를 이용하여 위험속도를 비교하였으며, 불평형응답해석을 수행하여 회전 시 발생하는 불평형 진동응답 비교하였다[1].

2. 유도전동기 로터

Fig. 1은 개발 로터의 형상과 명칭을 나타내고 있다. 본 모델의 경우 축에 동바와 코어 및 엔드링의 조립체가 결합된 구조이다.

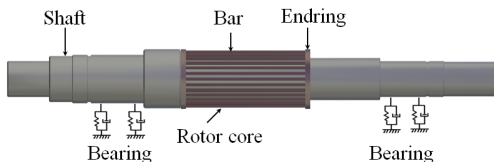


Fig. 1 Rotor model (bearing stiffness, left: 1×10^8 N/m, right: 8×10^7 N/m)

Table 1 Mechanical properties of used material

Item	Material	Shaft (SM45C)	Stator, rotor core	Bar & endring
		Steel	S7	Copper
Density (kg/m ³)		7,850	7600	8,900
Elastic Modulus (GPa)		210	200	110
Poisson' ratio		0.3	0.3	0.33
Yield strength(MPa)		505	370~385	62~69

상용 소프트웨어인 ansys와 samcef는 1차원에서 3차원 회전체 해석이 가능하며, 유도전동기 로터의 경우 2차원 축대칭 모델은 동바와 코어의 구조를 증가적으로 나타낼 수 없기때문에 1차원과 3차원 해석이 가능하다. 3차원 해석의 경우 많은 시간이 소요되기 때문에 1차원 모델을 기준으로 상호 비교하였다. 축에 동바와 코어 및 엔드링을 부가질량으로 적용하였다. Table 1은 각 요소의 재질과 물성치를 나타낸다. 유도전동기 고정자 코어와 로터 코어는 35PN250(0.35t, S7)의 포스코 무방향성 규소강판이 사용되었으며, 철손특성은 2.5 W/kg이하이며, 자속밀도는 1.62T 이상이다. 해석 모델인 유도전동기의 로터를 구성하는 부품과 로터가 지지되는 베어링 지지위치를 Fig. 1에 나타내었으며, 로터의 총길이는 408.5mm이다.

3. 모달테스팅

개발 로터의 고유진동수를 평가하기 위해 상용 소프트웨어인 ansys와 samcef를 이용하여 고유진동수 해석을 수행하였다. ansys와 samcef의 1차 고유진동수 결과는 각각 1,039Hz와 1,043Hz로 평가되었으며, 모달테스팅 결과인 1,049Hz와 비교하면

약 0.98%와 0.57% 오차가 발생하여 해석 결과를 신뢰할 수 있다.

4. 위험속도해석

회전체에서 운전속도가 위험속도 근방에 존재하게 되면 공진현상이 발생하고 공진모드로 인해 피로 파괴 현상이 발생하게 된다. 캠벨선도 해석을 수행하여 자이로스코프 효과를 고려한 위험속도를 산출 하였다. 또한 API(American petroleum Institute) standard 610의 회전체의 위험속도와 최대 연속운전속도 사이에 20%이상 분리 여유가 확보되어야 하는 규격을 검토하였다. Fig. 2는 캠벨선도이며 위험속도가 약 63,254rpm으로 약 111% 분리를 나타낸다. 상용 소프트웨어인 ansys와 samcef와의 오차가 거의 1% 미만으로 나타났다.

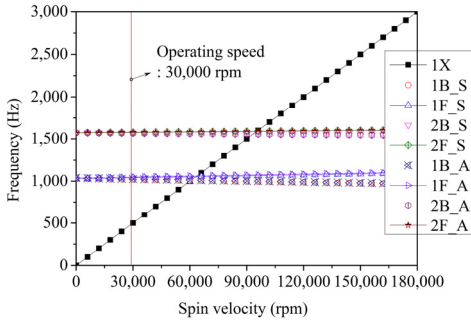


Fig. 2 Campbell diagram(samcef and ansys)

5. 불평형응답해석

허용 불평형량이란 로터의 평형 특성 등급에 의해 정해지는 로터의 허용 불평형 편심량과 로터의 유효질량을 곱한 값을 의미하며, 식 (1)과 같다.

$$U_{max} = e \times M (g mm) \quad (1)$$

허용 불평형 편심량은 평형 특성 등급을 고려해야 하며 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$U_{max} = \frac{9,549 \times G \times M}{N} (g mm/kg) \quad (2)$$

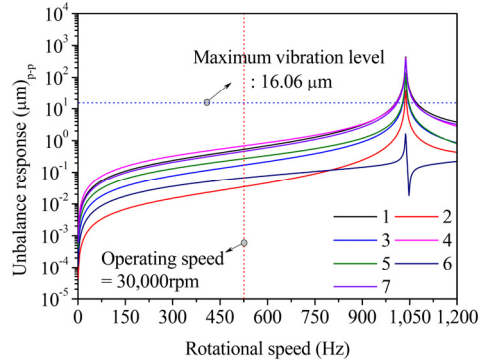
불평형 진동응답의 크기는 API 610에서 규정하고 있는 최대 진동레벨을 초과하지 않아야 하며 최대 진동레벨은 식 (3)로 표현된다.

$$L_{allowable} = 25.4 \sqrt{\frac{12,000}{N}} (\mu m_{peak-peak}) \quad (3)$$

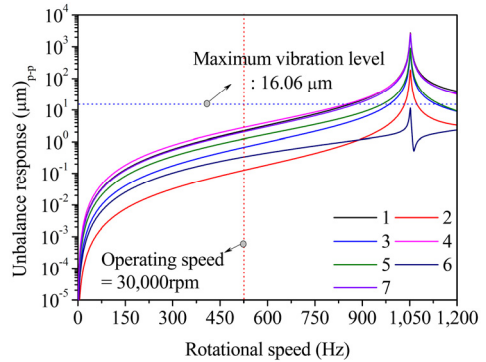
Fig. 3은 G등급 2.5에서 운전속도 30,000rpm 구동시 모든 위치에서 불평형 진동응답은 16.06μm 이내로 발생하여 안정하게 구동됨을 확인하였다.



(a) Unbalance position considering 1st bending mode



(b) Ansys



(c) Samcef

Fig. 3 Unbalance vibration response

5. 결론

상용 소프트웨어 ansys와 samcef를 이용하여 동적 구조해석에 수행하여 결과를 비교, 분석하였다. 위험속도는 잘 일치하였으나, 불평형응답은 경향은 비슷하지만, 구조감쇠로 인하여 변위응답의 크기 차이가 발생함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 정혁진, 이종원, 홍성욱, 유태규, "상용 S/W를 이용한 소형가스터빈엔진 회전체의 동적 구조해석 및 검증," 한국 소음진동공학회 논문집, **20**, 36-44, 2010.