

10kW 30,000rpm급 고속전동기의 해석기술에 관한 연구

The Study of Analysis Techniques of 10kW 30,000rpm Rated High-Speed Electric Motor

홍도관* · 최재학* · 한필완* · 우병철* · 구대현*

Do-Kwan Hong, Jae-Hak Choi, Pil-Wan Han, Byung-Chul Woo and Dae-Hyun Koo

1. 서 론

본 논문에서는 다중케이트방식을 적용한 30kW이하 3상 고속, 고효율 유도전동기를 개발하기 위한 설계, 제작, 시험평가 기반기술 개발을 목표로 하며 유도전동기의 토크, 효율을 평가하기 위한 자계해석, 회전자 코어, 엔드링과 동바의 구조강도를 평가하기 위한 구조해석 및 위험속도 및 불평형응답을 평가하기 위한 회전체 해석을 수행하여 고속, 고효율 유도전동기를 성공적으로 개발하였다.

2. 등 다이캐스팅 유도전동기 해석 기술

2.1 전기적 설계

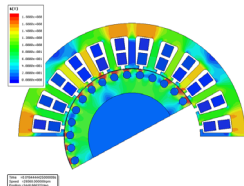


Fig. 1 The magnetic flux density distribution

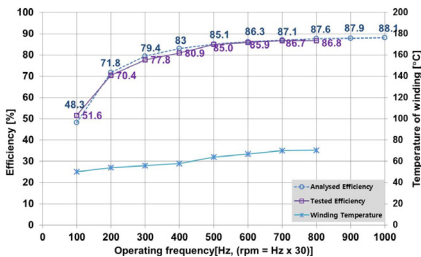


Fig. 2 The efficiency comparison between analysis and test of induction motor

† 교신저자; 정희원, 한국전기연구원 전동력연구센터
E-mail : dkhong@keri.re.kr

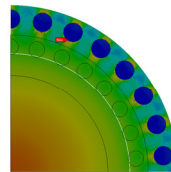
Tel : 055)280-1395, Fax : 055)280-1490

* 한국전기연구원 전동력연구센터

Fig. 1은 정격부하 및 속도에서 등포텐셜 자속선도와 자속밀도 분포도를 보이고 있다. Fig. 2는 자계해석에 의한 해석 효율과 시제품의 테스트에 의한 실험 효율은 거의 모든 영역에서 효율값이 일치하여 해석 결과가 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 구조강도해석

본 논문에서 유도전동기 로터 고속으로 회전함으로써 인해 원심력에 의해서 동바와 로터 코어소재의 밀도차로 인해 응력이 발생하며 또한 유도 전동기장시간 구동했을 때 포화온도를 적용하여 열팽창 특성까지 고려해서 구조강도를 수행하였다.



(a) 2D cross-sectional model



(b) 2D axis symmetry model

Fig. 3 Equivalent stress distribution(70°C,60,000rpm)

Table 1 Strength analysis(70°C, 60,000rpm) Unit:MPa

	Core	Endring	Bar	Shaft
2D cross-sectional model	92.39	-	12.72	81.11
2D axis symmetry	50.26	61.56	45.49	70.50
Safety factor	4.167	1.121	1.517	7.163

해석모델은 대칭경계조건을 적용한 로터의 1/4 단면 모델과 축대칭 모델을 비교 하였다. 유도전동기 로터 회전수는 가속한 조건을 주기 위해서 정격회전수의 2배인 60,000rpm을 적용하였다. 그 결과 Fig.

3 및 Table 1과 같이 항복강도 이내에 들기 때문에 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

2.3 캠벨선도(Campbell diagram) 해석

모달테스팅과 고유진동수해석결과의 오차가 1% 이내로 발생하였으며 Fig. 4는 유한요소 해석을 수행하여 구한 캠벨선도를 나타낸 것이며, 1차 굽힘 모드에서 위험속도는 69482.70rpm으로 나타났다. 운전속도(30,000rpm)와 약 131.6%의 분리여유가 확보되어 API규격을 충분히 만족하였다.

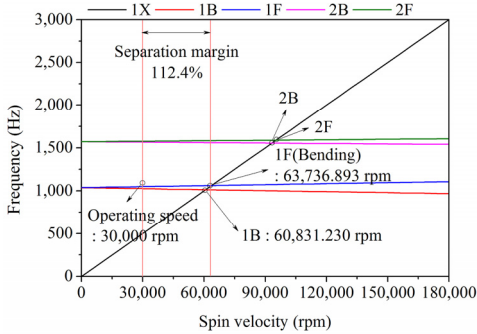
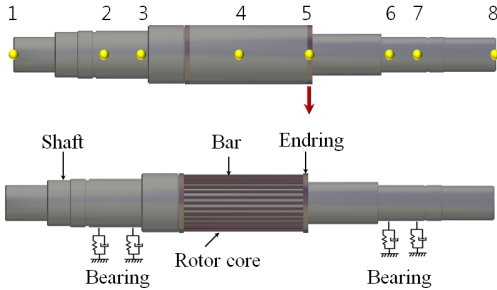
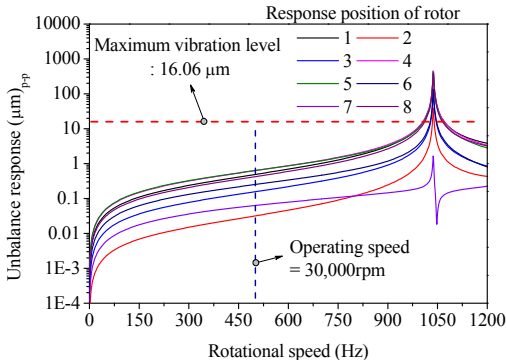


Fig. 4 Campbell diagram

2.4 불평형 응답(Unbalance response) 해석



(a) Unbalance position considering 1st bending mode



(b) Unbalance response of rotor (rated speed : 30,000rpm)

Fig. 5 Unbalance analysis

허용 불평형 편심량은 평형 특성 등급을 고려해야 하며 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$U_{max} = \frac{9,549 \times G \times M}{N} \quad (g \text{ mm/kg}) \quad (1)$$

불평형 진동응답의 크기는 API 610에서 규정하고 있는 최대 진동레벨을 초과하지 않아야 하며 최대 진동레벨은 식 (2)로 표현된다.

$$L_{allowable} = 25.4 \sqrt{\frac{12,000}{N}} \quad (\mu\text{m}_{peak-peak}) \quad (2)$$

Table 2 Vibration displacement in operating speed

4U _{per} = 12.732, unbalance position : 5	
Response position	Vibration displacement (30,000rpm)
1	0.489
2	0.032
3	0.157
4	0.629
5	0.634
6	0.252
7	0.063
8	0.423

Unit : mm

Fig. 5의 (a)는 불평형량이 적용된 위치를 나타내고 있으며, (b)는 회전수에 따라서 불평형 응답해석의 결과를 나타낸다. 정격속도인 30,000rpm에서 로터의 모든 위치에서 API 610에서 규정하고 있는 최대 진동레벨을 만족함을 알 수 있다. Table 2는 불평형량의 크기와 회전을 고려한 로터 각 위치에서 변위응답 해석결과를 정리하여 나타내었다.

3. 결 론

다중게이트방식을 적용한 30kW이하 3상 고속, 고효율 유도전동기를 개발하기 위하여 유도전동기의 토크, 효율을 평가하기 위한 자계해석, 회전자 코어, 엔드링과 동바의 구조강도를 평가하기 위한 구조해석을 수행하였다. 공진회피를 위한 위험속도 및 정격속도에서 안정적으로 구동될 수 있도록 ISO 및 API 규격으로 불평형응답을 평가하기 위한 회전체 해석을 수행하여 고속에서도 안정하게 구동하도록 하였으며 고속, 고효율 유도전동기를 성공적으로 개발하였다. 다양한 해석기술을 적용하여 3상 유도전동기를 개발하였고 개발목표인 84% 효율 대비 약 4.1% 향상된 88.1% 효율을 얻을 수 있었다.