

# 고속 유도전동기의 도체바수 및 슬롯수 조합에 따른 강제진동해석

## The Forced Vibration Analysis of High Speed Induction Motor According to the Combination the Number of Conductor Bar and the Number of Slot

홍도관<sup>†</sup> · 최재학<sup>\*</sup> · 김동준<sup>\*</sup> · 우병철<sup>\*</sup> · 구대현<sup>\*</sup>  
Do-Kwan Hong<sup>†</sup>, Jae-Hak Choi<sup>\*</sup>, Dong-Jun Kim<sup>\*</sup>,  
Byung-Chul Woo<sup>\*</sup> and Dae-Hyun Koo<sup>\*</sup>

### 1. 서 론

2008년 국내에서도 기후변화대응 종합기본계획을 세워 고효율 전기기기의 사용을 권장하고 있다. 고효율 전동기 분야에서도 2008년 최저 효율제를 실행하여 국가에너지의 15%에 해당하는 3상 유도전동기의 효율을 프리미엄급으로 생산하게 되었으며 머지않아 슈퍼프리미엄급으로 발전할 것으로 예상하고 있다. 동 다이캐스팅 전동기는 기존 알루미늄 다이캐스팅 전동기의 회전자 바를 동으로 바꾸기만 하여도 효율이 2~5% 정도로 향상되기 때문에 많은 에너지 절감을 얻을 수 있으며 회전자 동손이 낮기 때문에 회전자 발열이 감소되어 알루미늄 다이캐스팅 전동기와 비교해 볼 때 약 5℃의 온도가 낮다<sup>(1)</sup>.

공작기계 및 전기자동차용 고속, 고효율의 유도전동기를 개발하는데 있어서 반드시 고려해야되는 기술이 전동기의 소음진동 문제이다. 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30인 경우와 24:26인 경우의 전자기적 특성을 해석하여 전동기 주요 특성을 비교하였으며 가진력을 산출하고, 그 가진력을 구조해석에 적용하여 진동결과를 비교분석하였다.

### 2. 동 다이캐스팅 고속 유도전동기 해석

#### 2.1 동 다이캐스팅 고속 유도전동기

정격 10kW급 30,000rpm용 동 다이캐스팅 고속

유도전동기는 Hong의 논문들을 통해서 다양하게 소개되었다<sup>(2),(3)</sup>. Hong의 논문에서는 고정자 슬롯수와 회전자 바수는 24:30으로 제작된 것을 기준으로 소개되었다. 본 논문에서는 회전자의 도체바 수를 변경하고자 하였으며, 도체바 수에 따라 같은 면적으로 개수를 조절하였다.



(a) Copper die casting rotor



(b) Induction motor

Fig. 1 Copper die casting rotor and induction motor

유도전동기의 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 비슷하면 누설자속이 별로 없는데, 고정자 슬롯수보다 회전자 도체바수가 작으면 도체바 사이에 코어가 크게 되어 자속의 누설이 발생할 수 있다. 반대로 회전자 도체바수를 너무 크게 하면 또한 고정자 코어간격 치수가 적게되어 포화되고 출력특성이 줄어들게 된다. 따라서 적당한 비로 조절하는 것이

<sup>†</sup> 교신저자; 정회원, 한국전기연구원 전동력 연구센터  
E-mail: dkhong@keri.re.kr  
Tel : 055)280-1395, Fax : 055)280-1490  
<sup>\*</sup> 한국전기연구원 전동력 연구센터

좋다. 따라서 진동특성은 좋으면서 전기적 특성은 크게 떨어지지 않게 좋은 조합으로 선택하는 것이 관건이다. Table 1은 3상 유도전동기의 스펙을 나타낸다.

**Table 1** 3-phase induction motor specifications

Item	30bar	36bar	Unit
Pole/Slot	4/24		-
No. of phase	3		phase
Stator outer diameter	83		mm
Rotor outer diameter	49.5		mm
Stack length	100		mm
Rated power	10		W
Rated torque	3.25		rpm
Rated speed	29,438		W
Current density	10		W
Slip	0.0188		rpm

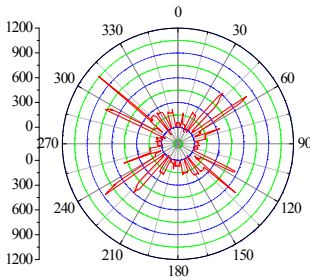
## 2.2 반경방향 자기압력 분포

(1) 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30

전체 힘의 요소로서는 맥스웰 응력 텐서법에 의해 전자기력을 계산할 수 있다. 반경 방향 요소의 힘밀도는 다음과 같은 계산식으로 정의 될 수 있다.

$$p_r = \frac{B_r^2 - B_t^2}{2\mu_0} \quad (1)$$

단,  $\mu_0$ 는 공기투자율,  $B_r$ 과  $B_t$ 는 각각 반경방향 및 접선방향 요소의 자속밀도를 나타낸다.

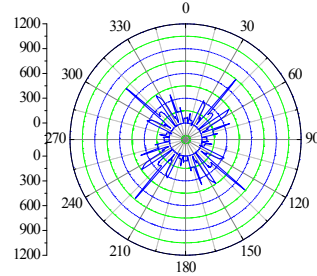


**Fig. 2** The radial magnetic pressure result of stator slot number and rotor conductor bar number 24:30 (30,000rpm)

Fig. 2는 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30인 반경방향 자기압력 분포결과를 나타낸다. 4극의 분포가 다소 불균일하며 크기 또한 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

(2) 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:36

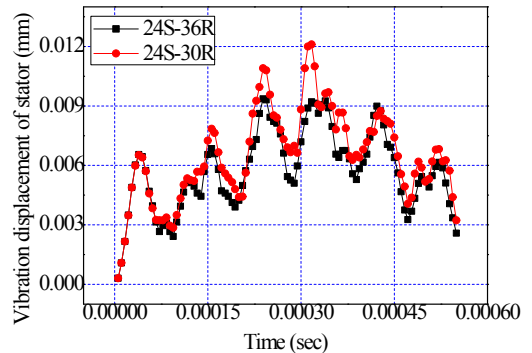
Fig. 3은 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수의 추천 조합 중에 고정자 슬롯수는 기존과 그대로 하고 회전자의 도체바수가 각도분할로 정수로 맞아 떨어지는 개수인 24:36으로 선정하였으며, 반경방향 자기압력 분포결과를 나타낸다. 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30인 경우에 비해서 반경방향 자기압력 분포가 균일하며 크기도 적게 나타났다.



**Fig. 3** The radial magnetic pressure result of stator slot number and rotor conductor bar number 24:36 (30,000rpm)

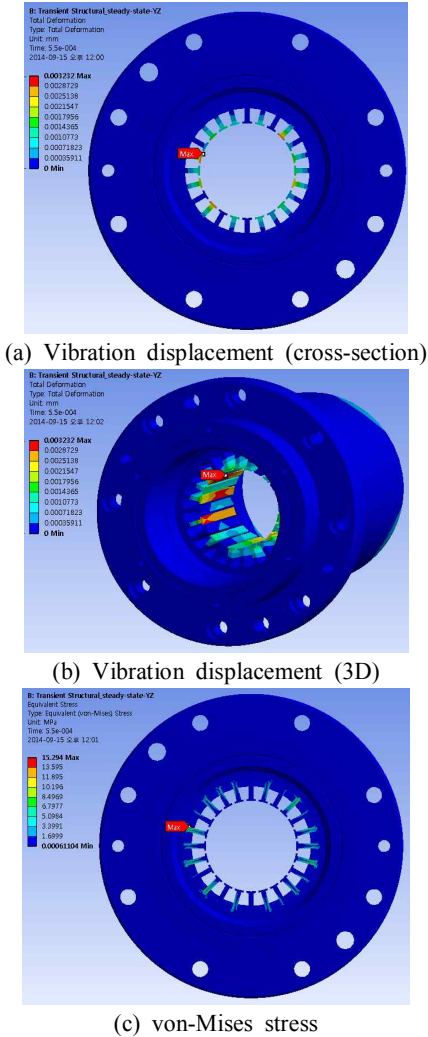
## 2.3 전자기력에 의한 구조해석

고정자의 24개의 치가 받는 전자기력에 의한 힘을 구한 뒤 각 치에 적용하여 과도응답 구조해석을 수행하였다. Fig. 4는 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30인 모델과 24:36인 모델의 고정자에서 진동변위의 결과를 비교한 것으로 기존 24:30인 모델보다 24:36인 모델의 진동변위가 더 작게 나타났다. 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:36 모델이 24:30 모델보다 진동변위가 감소하였으며 이로 인한 소음레벨도 감소할 것으로 예상된다.



**Fig. 4** The radial magnetic pressure result of stator slot number and rotor conductor bar number 24:30 (30,000rpm)

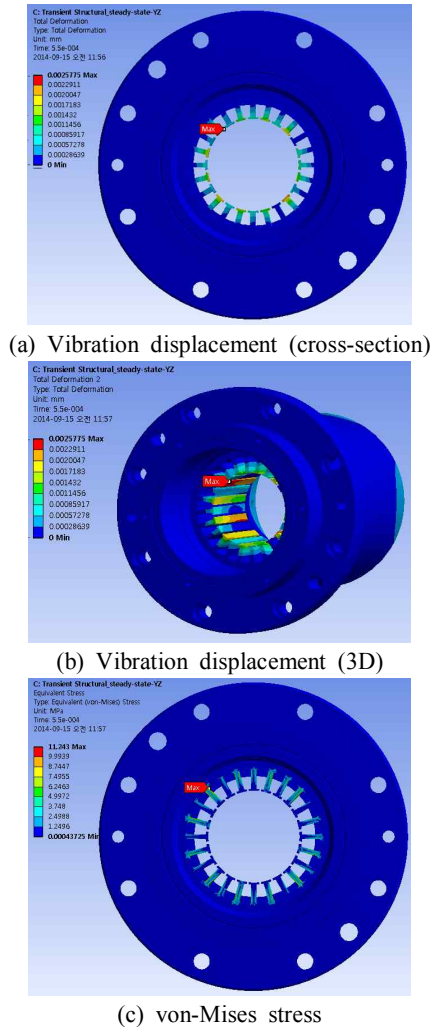
Fig. 5는 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:30인 모델의 과도응답 구조해석 결과를 나타낸다. Fig 5(a)와 (b)는 고정자 치 끝단부에서 등가변위 분포를 나타내며 최대변위가 약 3.232 $\mu\text{m}$  발생하였으며, Fig 5(c)는 등가응력 분포를 나타내며 최대 발생응력이 약 15.294 MPa로 안전한 것으로 나타났다.



**Fig. 5** The structural analysis result of stator slot number and rotor conductor bar number 24:30 (30,000rpm)

Fig. 6은 고정자 슬롯수와 회전자 도체바수가 24:36인 모델의 과도응답 구조해석 결과를 나타낸다. Fig 6(a)와 (b)는 고정자 치 끝단부에서 등가변위 분포를 나타내며 최대변위가 약 2.577 $\mu\text{m}$  발생하였으며, Fig 6(c)는 등가응력 분포를 나타내며 최대

발생응력이 약 11.243 MPa로 안전한 것으로 나타났다.



**Fig. 6** The radial magnetic pressure result of stator slot number and rotor conductor bar number 24:36 (30,000rpm)

최대발생 변위는 약 20% 저감되었으며, 최대발생 응력은 약 27% 저감되었다. 이로 인한 구조진동에 의한 방사소음도 저감될 것으로 예측되며, 추후 소음해석과 더불어 회전자 도체바수가 36인 모델을 제작해서 시험을 통해 검증하고자 한다.

### 3. 결론

본 논문은 고속 유도전동기의 도체바수 및 슬롯 수 조합에 따른 강제진동해석에 대한 내용으로 기존

의 24:30 조합보다 24:36의 조합이 반경방향 자기 압력분포라던지 전자기력에 의한 구조진동측면에서 더 개선된 결과를 얻을 수 있었으며, 소음 또한 개선될 것으로 예측되며, 추후 소음해석과 더불어 회전자 도체바수가 36인 모델을 제작해서 시험을 통해 검증하고자 한다.

## 참 고 문 헌

(1) Hong, D. K., Jung, S. W., Woo, B. C., Koo, D. H., and Ahn, C. W., 2012, Unbalance Response Analysis of Copper Die Casting High Speed Induction Motor, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 7, pp. 642~649.

(2) Hong, D. K., Choi, J. H., Han, P. W., Woo, B. C., and Koo, D. H., 2012, Analysis of High Speed Induction Motor for Spindle Made by Copper Die Casting Process, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 13, No. 12, pp. 2251~2257.

(3) Hong, D. K., Choi, J. H., Kim, D. J., Chun, Y. D., Woo, B. C., and Koo, D. H., 2013, Development of a High Speed Induction Motor for Spindle Systems, IEEE Trans. Magn., Vol. 49, No. 7, pp. 4088~4091.