

최적화 기법을 이용한 산업용 2극 전동기 저진동 프레임 개발

Development of motor frame with low vibration using optimization method

김태영† · 김원현* · 주원호* · 임종욱**

Tae Young Kim, Won Hyun Kim, Won-Ho Joo and Jong Wook Lim

1. 서 론

펌프, 압축기, 송풍팬 등의 산업용 기계 동력원으로 사용되는 전동기는 기본적인 출력, 냉각 및 안전 등의 성능 외에 저진동, 저소음 품질에 대한 요구가 최근 크게 증가하고 있다. 산업용 전동기 중 2극 전동기는 회전속도가 3,600 rpm 인 고속 전동기로서 축계 불평형에 의한 기진력이 크고 특히 전원 주파수 2 배수 성분(2f₁)의 전자기력이 다극 전동기에 비해 고정자 변형과 쉽게 반응하기 때문에 진동에 취약하다.

본 논문에서는 산업용 2극 전동기에 대해 최적 설계 기법을 적용하여 주요 기진력에 의한 진동을 최소화 할 수 있는 프레임을 개발하고자 하였다.

2. 최적 설계 기법을 이용한 전동기 프레임 설계

2.1 유한요소 해석 모델 구축

최적 설계 기법을 적용하기 위해 먼저 2극 전동기 유한요소 해석 모델을 Figure 1과 같이 구축하였다. 대상 모델에는 고정자 코어, 회전자 코어, 클러하우징 및 베어링 하우징 등이 포함되었다. 회전축의 불평형력과 고정자 코어에 작용하는 전자기력에 대한 강제진동 해석 결과를 계측 결과와 비교한 결과 전자기력에 의한 진동은 약 7% 이내, 축계 불평형력에 의한 진동은 약 14% 이내로 일치하여 비교적 정도 높은 해석 모델을 확보하였다.

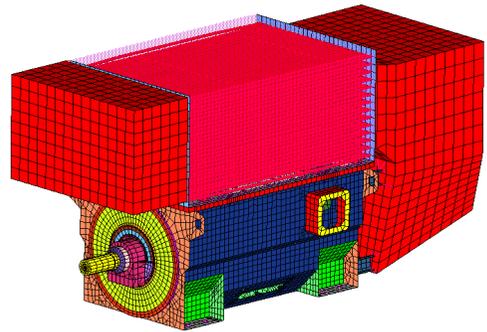


Figure 1 FE model of 2-pole induction motor (3,000 HP)

2.2 최적화 해석

구축된 유한요소 해석 모델을 이용하여 진동 응답을 최소화 하기 위한 최적 설계를 수행하였다. 설계 변수로는 전동기 프레임의 주요 부재를 선정하였다. 최적 설계 시 설정할 수 있는 목적 함수는 주요 기진력을 고려해 보았을 때 축계 불평형력에 의한 60 Hz 의 주파수응답함수와 전자기력에 의한 120 Hz 의 응답함수를 선정할 수 있다. 아래 식 (1) 은 주파수응답함수를 목적 함수로 한 최적 설계 개념식을 나타낸 것이다.

$$\min[f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad (1)$$

$f(X)$: objective function

x_n : Design variables

$$f(X) = \text{Mag}[FRF(Mo)]_{i=60,120\text{Hz}}$$

전동기 프레임의 주요 부재는 모두 2-D 셸(shell)요소로 모델링 되어 있으므로 목적 함수가 최소화 되는 즉, 진동이 최소화 되는 최적의 셸 두께를 얻는 최적화 기법을 적용하였다. 최적화

† 현대중공업 동역학연구소

E-mail : mrtykim@hhi.co.kr

Tel : (052)203-8619, Fax : (052)202-5495

* 현대중공업 동역학연구소

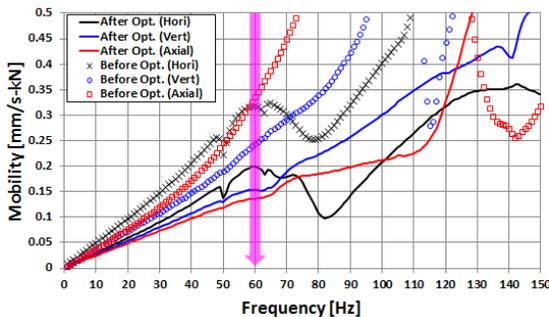
** 현대중공업 회전기설계부

해석에 사용할 수 있는 프로그램은 다양하지만 본 논문에서는 상용 해석 프로그램인 Altair사의 Optistruct를 사용하였다.

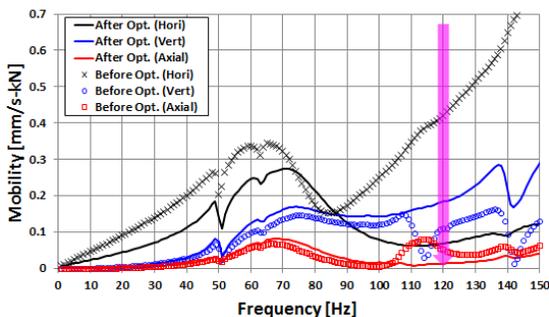
Figure 2는 축계 불평형력 및 전자기력에 대한 최적화 전, 후의 주파수응답함수를 비교하여 나타내었다. 불평형력에 의한 60 Hz의 주파수응답함수는 경향성은 변하지 않으나 크기가 전체적으로 감소한 것을 알 수 있다. 전자기력에 의한 120 Hz의 주파수응답함수는 상대적으로 크기가 작은 수직 및 축 방향 응답보다는 수평방향의 주파수응답함수 크기가 크게 감소한 것을 알 수 있다. 도출된 최적 설계안은 기존 프레임보다 질량은 4.7% 증가하지만, 프레임 강성을 최대화 할 수 있는 가장 효과적인 부재를 보강함으로써 진동 감소 효과를 극대화 할 수 있다. 본 해석 결과로 60 Hz 및 120 Hz에서의 주파수응답함수는 평균 37% 감소하므로 최적화된 전동기 프레임에 실 제품에 적용시 효과적인 진동 감소 효과를 기대할 수 있다.

3. 최적 설계안 적용 시험

최적 설계안이 적용된 전동기 프레임의 진동 저감



(a) FRF by unbalance excitation (60 Hz)



(b) FRF by electromagnetic force (120 Hz)

Figure 2 Optimized frequency response functions

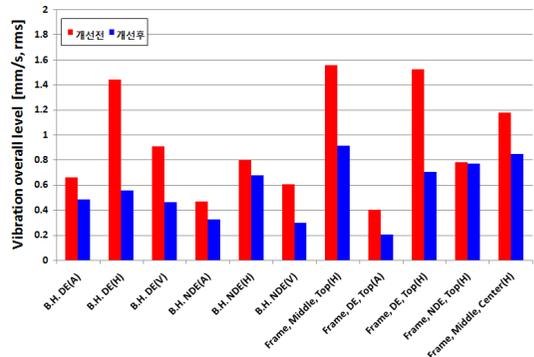


Figure 3 Measured vibration level of motor with original frame and optimized frame

효과를 확인하기 위한 실증 시험을 수행하였다. 최적 설계 전, 후 전동기의 주요 가진력인 불평형력과 전자기력이 달라지는 것을 최소화 하기 위해 회전축, 고정자 코어, 쿨러 하우징은 모두 그대로 두고 시험 대상 전동기에서 프레임만 변경하여 시험, 비교하였다. Figure 3은 최적 설계 전, 후의 전동기 프레임에 대한 전동기 진동을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 기존 전동기는 100% 부하 조건에서 최대 1.5 mm/s (rms)의 진동 수준을 나타내나 최적 설계 프레임이 적용된 전동기는 모든 측정 위치 및 방향에서 최대 1.0 mm/s (rms)를 초과하지 않았다. 주파수 별로는 60 Hz 대역의 진동은 평균 58%, 120 Hz 진동은 평균 20% 감소하여 최적화된 전동기 프레임이 진동 감소에 효과적인 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 산업용 2극 전동기 프레임에 대해 최적화 기법을 적용하여 축계 불평형력 및 전자기력에 의한 진동을 최소화 할 수 있는 저진동 설계안을 도출하였다. 설계된 저진동 프레임을 실제 전동기에 적용한 결과 기존 대비 20% 이상 진동 저감을 계측으로 확인하였다. 따라서 최적 설계 해석 기법이 산업용 기기에 적용되어 진동 및 소음 문제를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.