

엘리베이터 직접 구동용 박형 영구자석 동기전동기의 진동에 관한 연구

김성주, 김경호, 조운현
동아대학교 전기공학과

A Study on vibration of slim type Permanent Magnet Synchronous Motor for driving elevator

Sung Joo Kim, Kyung Ho Kim, Yun Hyun Cho
Dong-A University, Electrical Department

Abstract - Electromagnetic system of motor is being minimized by superior magnetic material and advanced design technology. But this type of motor causes a serious vibration. This is a big problem of motor operation. To decrease a vibration, motor is need to be designed considering mechanical vibration. This paper study about torque, natural frequency and mechanical vibration according to displacement.

1. 서 론

에너지 밀도가 높은 영구자석과 자성 재료 기술의 향상, 전력전자 기술 및 마이크로프로세서 지원의 전동기 제어 기술의 향상으로 공작기계와 로봇 등의 고성능 구동 특성이 요구되는 분야에 영구자석 전동기의 적용이 요구되고 있다. 특히 최근에는 FA분야뿐만 아니라 엘리베이터, 크레인, 전기자동차, 전철 등의 동력 장치가 기존의 유도전동기 대신에 소형화, 고 토크화, 고효율화, 고성능화 되고 있다. 따라서 단위 체적당 전자기 에너지가 커지고, 진동 특성이 악화되고 있다. 이에 본 논문에서는 엘리베이터 직접 구동용 박형 영구자석 동기전동기의 전자기 해석과 고유진동주파수 및 기계적 변위에 대해 연구하였다.

2. 본 론

2.1 진동의 원인 및 해결 방안

2.1.1 진동의 원인

전동기의 전자기시스템은 우수한 자기적 특성을 가지는 자성 재료와 전동기 설계 기술의 향상으로 경박단소화되는 경향에 따라 단위 체적당 전자기 에너지가 커져서 진동 및 소음의 특성이 악화되고 있다. 전기기기가 가지는 진동의 원인은 크게 전자기적 요인, 기계적 요인, 공기역학적 요인으로 분류할 수 있다. 전자기적 요인으로는 불평형 전원, 전류의 고조파 성분, 부하의 갑작스러운 변동, 공극의 불균일, 권선의 진동 등에 의해 발생한다. 기계적 요인으로는 회전자의 회전, 회전자 질량의 불균형 분포, 축의 불균형 및 어긋남, 불완전한 결합, 베어링의 마찰등에 의해 발생하고, 공기 역학적인 요인으로는 치 및 슬롯 구조에 의한 압력변화, 냉각 팬 등이 있다.

2.1.2 해결 방안

여러 가지 기계적 요인 중 기계적 편심은 공극 자속 밀도에 많은 고조파 성분을 만들기 때문에 전동기의 구동 특성 저하와 가진력의 불평형을 야기하고, 고조파 성분은 가진력에 의한 소음 및 진동특성을 악화시킨다. 따

라서, 진동 저감의 한 방법으로 편심에 기인한 전자기적 가진력으로부터 기계적 거동을 해석하고 편심의 상태를 예측하는 것이 필요하다. 이 외의 기계적인 원인은 대부분 기계 제작 기술의 문제이다.

이런 여러 가지 기계적인 원인에 의한 공극의 불균형이 전자기 현상에 영향을 줌으로써 가진원으로 발생된다. 전동기에 작용하는 전자기적 가진원은 기계적 요인과 전자기적 현상의 상호 유기적 관계로부터 발생한다. 따라서, 기계시스템과 전자기적 시스템을 결합한 해석이 필요하다.

전자기적 가진력에 의한 주요 원인은 전동기의 고정자와 회전자 사이에 작용하는 반경방향의 힘이며, 전동기의 고정자를 주기적으로 가진함으로써 진동을 야기한다. 특히, 이 전자기적 가진력의 진동수가 전동기 구조물의 고유진동수와 비슷한 영역에 있으면 공진하게 되어 진동이 더욱 커지게 된다. 따라서 저 진동의 전동기를 설계하기 위해서는 전자기 고조파를 줄이거나 가진원의 전달 경로를 차단하고 가진원의 주파수와 일치하지 않도록 자기회로를 설계해야 한다.

2.2 기계계의 유한요소 해석

2.2.1 자유 진동 해석

비감쇠 구조물 전체의 진동 운동 방정식을 행렬로 표현하면 식 (1)과 같다.[1-2]

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0 \quad (1)$$

여기서, $[M]$ 과 $[K]$ 는 각각 전체 질량행렬과 강성행렬이며, $\{x\}$ 는 각 절점에서의 변위 벡터로서 두 번 미분한 것은 가속도를 나타낸다. 이 방정식은 자유경계 조건을 가지는 고정자의 해석 모델에 대한 고유치 문제가 된다.

선형 시스템에서 자유진동의 해는 다음과 같이 주기적으로 변화하는 식 (2)와 같이 조화운동으로 나타낼 수 있다.

$$\{x(t)\} = \{\Phi\}_i e^{i\omega_i t} \quad (2)$$

여기서, ω_i 는 i 번째 고유진동수, $\{\Phi\}_i$ 는 i 번째 고유진동수의 모드형상을 나타내는 고유벡터이며 t 는 시간을 나타낸다. 운동 방정식 식 (1)에 식 (2)를 대입하면 다음과 같이 정리된다.

$$([K] - \omega_i^2[M])\{\Phi\}_i e^{i\omega_i t} = 0 \quad (3)$$

식 (3)에서 $\{\Phi\}$ 는 0이 될 수 없으므로 행렬식은 다음과

같다.

$$|[K] - \omega_n^2[M]| = 0 \quad (4)$$

이 방정식은 고유치의 문제로 고유진동수는 n개의 자유도 만큼 생긴다.

2.2.2 강제 진동 해석

시간에 따라 급격하게 변화하는 전자기적 가진력이 고정자의 극 표면이나 한점에 작용할 때 구조물의 동적 응답 특성해석이 필요하다. 따라서, 유한요소법을 이용하여 가진력의 패턴에 의한 구조물의 과도 특성을 해석하기 위한 방법 중 모드 중첩법은 다음과 같다.

동적 하중 $F(t)$ 에 의한 구조물의 동적 응답 특성을 위하여 n차의 자유도에 대한 시간 함수에 따른 응답은 식 (5)와 같다.[3]

$$[M] \sum_{i=1}^n \{\phi_i\} \ddot{y}_i(t) + [C] \sum_{i=1}^n \{\phi_i\} \dot{y}_i(t) + [K] \{\phi_i\} y_i(t) = \{F(t)\} \quad (5)$$

여기서, y_i 는 응답, $\{\phi_i\}$ 는 i번째 모드의 모드형상 계수, $\{F(t)\}$ 는 전자기 힘을 포함한 구동 벡터이다. 각 점에서 시간에 따른 응답의 해는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} y_1 &= \phi_{11}x_1(t) + \phi_{12}x_2(t) + \dots + \phi_{1n}x_n(t), \\ y_2 &= \phi_{21}x_1(t) + \phi_{22}x_2(t) + \dots + \phi_{2n}x_n(t), \\ &\vdots \\ y_n &= \phi_{n1}x_1(t) + \phi_{n2}x_2(t) + \dots + \phi_{nn}x_n(t) \end{aligned} \quad (6)$$

2.3 전동기 사양 및 특성 해석 결과

본 연구에서 해석 된 전동기의 사양은 표 1에 나타나 있다. 극수는 32, 슬롯수는 36인 분수 슬롯의 전동기이다. 회전자의 구조는 표면 영구자석형이고, 전동기의 크기를 줄이기 위해서 권선은 집중권으로 되어 있다.

표 1 전동기의 사양

항 목	제 원
용량	11[KW]
정격토크	1094[Nm]
정격속도	96[rpm]
정격전압	381[V]
정격전류	20[A] 이하
상수	3
극 수	32
슬롯수	36
전동기 외경	φ 617
회전자 구조	표면 영구자석형
고정자 구조	권선형
효율	90%
역율	0.9

해석 모델은 3-D로 모델링 하였다. 그리고 고유진동수와 모드형상을 조사하기 위하여 동기전동기의 고정자만을 다루었다. 해석을 위한 재질 정수는 선형, 등방성으로 가정 하였다.

그림 1은 전자장 해석 결과에 의해 나타난 자속 밀도이다. 최대 자속 밀도는 1.645 [T]이다.

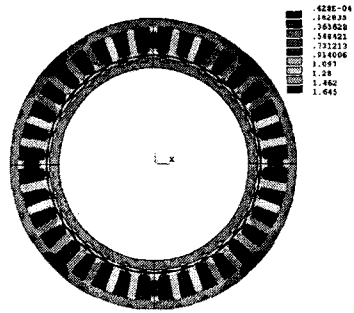


그림 1 동기전동기의 자속 밀도

그림 2는 전동기의 공극의 자속 밀도이다. 공극에서의 최대 자속밀도는 1.1[T] 정도이고, 평균 자속 밀도는 0.6[T] 정도이다.

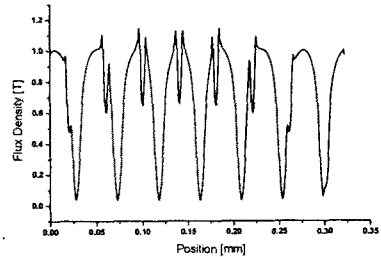


그림 2 공극의 자속 밀도

그림 3은 회전자의 위치에 따른 전동기의 코깅 토크이다. 코깅 토크의 최대치는 1[Nm] 정도이고, 주기는 1.25°이다.

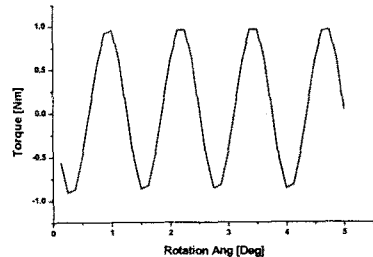


그림 3 동기전동기의 코깅 토크

그림 4는 회전자 위치에 따른 토크이다. 이때 전류는 3[A], 6.35[A], 9[A]에 대해 해석하였다.

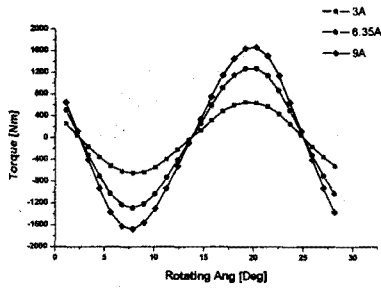


그림 4 전류와 회전자 위치에 따른 토크

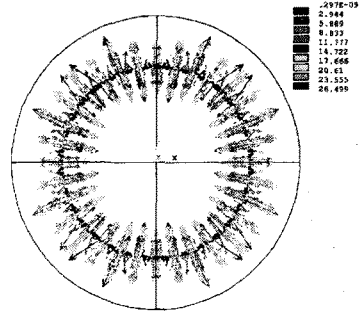


그림 6 전동기의 가진력 분포

그림 5는 가진력이 없이 유한요소 해석한 자유진동, 즉 고정자의 고유진동수와 고유진동수에 대한 모드형상을 나타낸 것이다. 그리고 숫자는 고유진동수를 나타낸다. (a)와 (b)는 각각 134.62[Hz]와 359.62[Hz]에서 타원운동을 하는 모드이다.

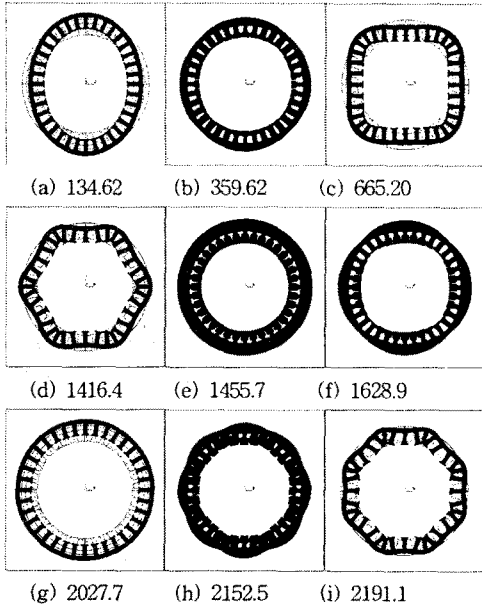


그림 5 고유진동수에 대한 모드 형상

그림 6은 전자장 해석에 의해 나타난 전동기의 가진력 분포를 나타내었다. 여기에서 최대는 26[N]이고 모두 반경 방향을 향하고 있음을 알 수 있다. 여기에 나타난 힘을 전동기의 고정자의 각 부분의 노드에 힘으로 입력하여 조화해석을 하였다. 조화 해석을 한 결과가 그림 7에 나타나 있다. 여기에서 주파수의 범위는 1차와 2차 모드를 포함하는 부분을 선정하여, 0~500[Hz]까지 해석하였다. 특히 이 1차와 2차 모드는 기계의 진동을 크게 하는 부분이다. 변위의 측정 위치는 X-축 방향의 힘이 0이 되는 점을 선택하였다.

그림 7에서 나타나듯이 1차 고유진동수인 134[Hz] 근처와 2차 모드인 360[Hz] 근처에서 크게 변한다. 그러므로 전동기가 이 고유진동수 근처에서 구동되지 않도록 하여야 한다. 그리고 전동기의 힘에 영향을 미치지 않는 부분의 치수를 변화 하거나 형상을 변화 시켜서 고유진동수에서 벗어나도록 설계하여야 한다.

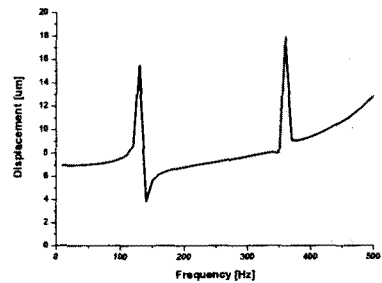


그림 7 주파수에 대한 Y-축 방향의 기계적 변위

3. 결 론

본 논문에서는 전자기 및 기계적 요인에 의해 발생하는 진동에 대해 연구하였다. 또 엘리베이터 직접 구동용 박형 영구자석 동기전동기를 유한 요소법에 의한 전자장 특성 해석을 하였고, 이것을 기계 해석과 연성하여 해석하여, 고유진동수 및 기계적 변위 이론적 방법으로 얻었다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Logan의 유한요소법 첫걸음, 시그마프레스, 1997
- [2] "유한요소법 구조진동해석", 도서출판과학기술, 1998
- [3] ANSYS Manual Theory, ANSYS Inc., 2000