

# 전자기력에 의한 전동기 진동소음해석

## An Analysis of Acoustic Noise and Vibration of Motors due to Electromagnetic Forces

배성욱\* · 정의봉\*\* · 홍진숙\*\*\* · 김진\*\*\*\* · 공영경\*\*\*\*\*

Sung Wook Bae, Weui Bong Jeong, Chinsuk Hong, Jin Kim and Kong Young Kyung

### 1. 서 론

자동차, 가전제품, 선박에 이르기까지 상당히 많은 기계류의 동력원으로서 속도제어 및 소형화에 유리한 전동기가 많이 사용되고 있다. 한편으로, 제품의 기본성능과 더불어서 진동, 저 소음 등 품질과 관련된 요구가 날로 커지고 있는 실정이다. 진동/소음과 관련된 많은 연구가 이루어져 왔지만 Fig.1과 같이 구조적 측면과 전자기적 측면 등 여러 소음발생 기구들에 의해 여전히 진동/소음으로부터 자유로울 수 없다. 일반적으로 알려진 전동기의 대표 소음원으로는 전자기력에 의한 토크리플(Torque Ripple)과 코깅토크(Cogging Torque)등이 있다. 따라서, 이들 소음원에 대한 규명 및 저감 노력은 제품의 진동/소음과 관련된 품질에 직접적 영향을 끼치며 특히 제품의 초기 설계단계에서 매우 중요하다 하겠다. 초기 설계단계에서의 저감은 후기 단계에 비해 노력 및 비용 면에서 유리하기 때문이다.

본 연구에서는 상용 프로그램인 Flux2D, Nastran 및 Sysnoise 등을 이용하여 영구자석에 의해 발생하는 전자기 소음원을 해석하고 최종적으로 전동기의 방사소음을 예측하는 방법을 제시하고자 한다.

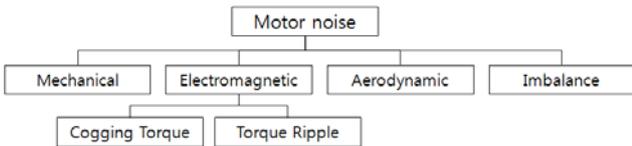


Fig.1 Generation Mechanism of Electric Motor Noise

### 2. 소음원 해석

#### 2.1 전자기력 해석

\* 부산대학교 대학원 기계공학부  
 \*\* 부산대학교 기계공학부  
 \*\*\* 울산과학기술대학교 디지털기계학부  
 \*\*\*\* 효성중공업 연구소  
 \*\*\*\*\* 국방과학연구소

코깅토크는 영구자석을 사용하는 전동기에서 공극의 형상과 영구자석과의 상관관계에 의해 발생하는 힘으로 영구자석의 자속이 최소 톨릭텐스 경로를 통해 이동하려는 경향을 통해 발생한다. 영구자석에 의해 발생하는 힘을 계산하는 방법으로는 가상일(Virtual Work)법과 맥스웰 응력 텐서(Maxwell Stress Tensor)법 등이 있으며 식(1)과 같이 맥스웰 응력 텐서법이 대표적으로 사용되고 있다.

$$\vec{F} = \int_s \frac{1}{\mu_0} (\vec{n} \times \vec{B}) \vec{B} - \frac{1}{2\mu_0} \vec{B}^2 \times \vec{n} ds \quad [N/m^2] \quad (1)$$

$\mu_0$ 는 투자율,  $\vec{B}$ 는 자속밀도,  $\vec{n}$ 은 단위벡터를 나타낸다. 자속밀도가 영구자석의 길이방향으로 일정한 값을 가진다고 가정하면 2-D해석을 통해 힘을 계산 할 수 있다. Fig 2는 전자기력 해석을 위해 수립한 전자기장 모델을 보이고 있다.

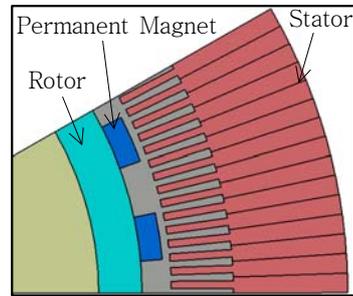


Fig.2 Sectional view of the two dimensional electromagnetic model of the motor

Fig.3은 전동기의 축 회전수가 60rpm일 때 해석한 결과를 보이고 있다. 가로 축은 코깅주파수로 정규화하였다. 가로축에서 0.083의 하모닉 성분과 1의 하모닉 성분이 뚜렷하게 확인된다. 0.083의 성분은 슬롯의 주기성분이며 1의 성분은 코깅토크에 의한 성분이다.

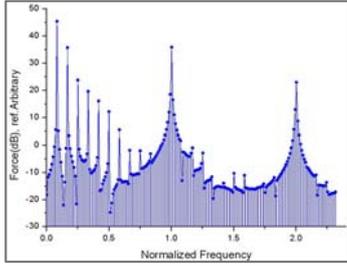


Fig.3 Calculated electromagnetic forces at a stator when the shaft rpm is 60 RPM

## 2.2 진동 해석

전자기력에 의한 진동을 해석하기 위해 앞서 계산된 전자기력(Fig. 3)을 전동기 구조 유한요소모델에 가진력으로 모델링하여 주파수응답 해석을 수행하였다.

Fig.4는 60rpm회전 시 전자기력에 의한 발생된 속도 진동기 마운트 상단부의 값을 평균한 값이다. 정규화주파수 1에서 최대값 42.3(dB ref. arbitrary)가 발생함을 알 수 있다. 코깁주파수 성분이 진동전달에 주요 성분임을 알 수 있다.

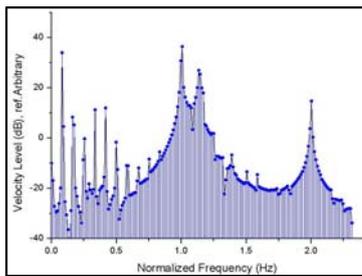


Fig.4 Averaged velocity over the upper connecting surface of the mount at 60 rpm

## 3. 방사소음 해석

### 3.1 경계요소 모델개발

전동기 방사소음 해석은 전자기력에 의한 구조진동해석 결과를 경계조건으로 부여하여 경계요소해석을 수행하였다. Fig. 5는 방사소음해석을 위한 경계요소모델과 음장계산을 위한 격자(field point mesh)를 보이고 있다. 경계요소 모델은 전동기 외곽면의 요소와 반 무한 경계를 모델링하였다. 음장해석격자는 전동기 표면에서 약 1m 떨어진 5면체 형상의 격자를 생성하였다. 경계요소 해석을 위한 조건은 Table.1에 정리하였다.

Table. 1 경계해석 조건 설정

	조건	비고
바닥면	Symmetry Plane	
BEM Method	Direct	
수음점(Field Point)	전동기 표면 1m	

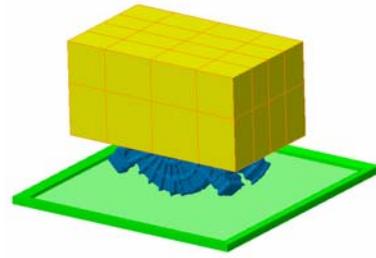
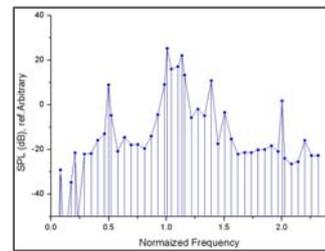


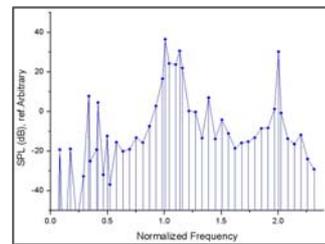
Fig.5 Three dimensional BEM model of the motor

### 3.2 해석 결과

Fig.6는 전동기의 축 회전수가 30rpm 및 60rpm의 경우 음장해석격자에서 얻은 음압을 평균한 결과를 보이고 있다. 30rpm 회전 시 최고 25.3(dB ref. arbitrary), 60rpm 회전 시 최고 36.5(dB ref. arbitrary)가 발생함을 알 수 있다. 이들 최대치는 모두 코깁주파수 성분이다.



(a) 30rpm



(b) 60rpm

Fig.6 Sound pressure level averaged over the field point mesh

## 4. 결 론

본 연구에서는 전자기력에 의한 전동기의 방사소음 예측 방법을 제시하였다. 소음 분석결과 60rpm 회전 시 최대 36.5(dB ref. arbitrary)가 발생하였으며 코깁주파수에 의한 성분임을 확인 하였다. 따라서 전동기의 진동/소음 저감을 위해서는 저 소음진동 특성을 갖는 구조적 설계 뿐만 아니라 전자기적 측면에서 코깁토크의 저감을 통해 가능함을 확인 하였다.

## 후 기

본 연구는 효성중공업 위탁과제사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.