

슬롯 오픈이 전동기 소음에 미치는 영향 고찰

김수철\*, 김규식\*\*, 이병화\*\*, 박광민\*\*, 이봉현\*\*, 홍정표\*  
 한양대학교\*, 자동차부품연구원\*\*

Study on the Effects of Noise for the Electric Motor according to Slot Open

Su-Chul Kim\*, Kyu-Sik Kim\*\*, Byong-Hwa Lee\*\*, Park Kwang-Min\*\*, Bong Hyun-Lee\*\*, Jung-Pyo Hong\*  
 Hanyang University\*, KOREA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY INSTITUTE\*\*

**Abstract** - 본 논문은 매입형 영구자석 동기모터(IPMSM: Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)에서 발생하는 소음의 원인을 유추하고 해석적, 실험적 방법을 통하여 소음을 평가한다. 또한 비교 모델의 실험을 수행하여 측정된 데이터에 따른 소음 값을 비교 분석한다. 대상 모델은 12극 18슬롯이고 슬롯 오픈의 유무에 따른 주파수 분석 및 소음을 측정하였다. 기존 전동기와 비교 모델 전동기의 소음 결과를 분석하였고 슬롯 오픈 유무에 따라 소음이 발생하는 것을 확인하였다.

1. 서 론

화석 연료 사용으로 인한 환경 오염과 자원 고갈의 현상으로 인하여 자동차 산업의 패러다임은 기존의 내연기관 자동차에서 친환경적인 전기구동 시스템으로의 변화가 요구 되어 지고 있다. 본 논문에서는 전기자동차 구동용 모터의 차량 내부에서 발생하는 소음 및 진동에 의하여 차량 내부에서 소음이 감지 될 수 있으므로 모터 설계 단계에서 충분한 검토를 다루고자 한다. 전기자동차 Leaf의 경우 실제 주행 시 50KPH, 70KPH, 100KPH 영역에서 사람의 귀에 민감한 음역대에서 소음이 발생하는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 본 논문에서는 전기자동차 구동용 모터의 진동 및 소음 저감에 대한 내용을 다루었으며 이를 저감하기 위하여 고정자의 Slot 부의 형상과 유사한 헬름홀츠 공명기의 이론을 이용하여 고정자의 Slot 부를 close 하는 작업을 통해 변형하였다. 이를 통하여 모터의 고정자 Slot 유무에 의한 고조파 성분 및 가진원의 주파수 변화를 확인하였다. 각각의 Slot 유무에 따른 모터의 성능 변화가 일어나지 않도록 고정자 Slot 부의 형상에 변화를 주었으며 대상 모터의 소음 및 진동을 평가하기 위하여 무부하 구동 상태에서 측정하고 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 헬름홀츠 공명기

헬름홀츠 공명기는 그림 1과 같이 목의 체적에 비하여 상대적으로 큰 부피를 갖는 공동(cavity)과 좁은 목(neck)으로 이루어져 있다. 공명기의 목 부분으로 음압이 작용하면 공명기의 목에 위치한 유체 입자는 목의 단면에 대하여 균일한 운동을 하게 된다. 이 때 목의 길이에 위치한 유체 입자는 질량요소로 변환되고 공동을 이루는 체적이 스프링요소로 변환되어 그림 1과 같은 등가 1자유도 시스템으로 해석할 수 있다.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{Vl'}} \quad (1)$$

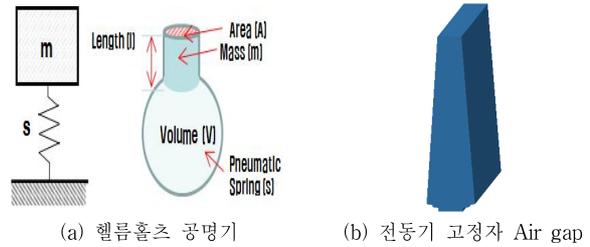
공명주파수는 공명기 형상을 지니고 있는 고정자 Slot open 부의 형상을 공명기 수식에서의 요소로 정의하면 목의 단면적(A), 공명기 공동의 체적(V) 공명기 목의 유효길이(l') 등에 의하여 결정된다.

이 헬름홀츠 공명기의 형상과 고정자 Slot open 부의 형상의 유사함을 통하여 해당 식을 이용한 대상 전동기의 고정자 Slot open 부의 Air resonance를 해석하였다. 고정자 권선 부의 점적률을 고려하여 Slot open 이 되는 모델을 설계하였다.

2.2 진동 및 소음 영향도 분석

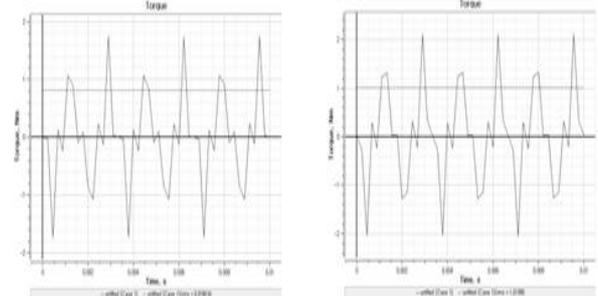
2.2.1 고정자 slot 형상 변형 설계

고정자 형상 slot open 부에 비자성체를 삽입하여 slot close 형상으로 설계한 후 모터의 전자기적 성능에 영향을 미치는지를 파악하였다. 회전자의 권선부에 최대한 간섭이 가지 않는 방향으로 설계가 되었으며 전동기의 진동과 소음의 원인이 되는 코깅 토크 결과를 비교하였다. 그림 2는 Prototype과 고정자 Slot 부분에 비자성체를 삽입한 모델의 전자기 해석 결과를 보여준다. 코깅 토크의 영향은 크게 나타나지 않음을 볼 수 있다.



(a) 헬름홀츠 공명기 (b) 전동기 고정자 Air gap

<그림 1> 헬름홀츠 공명기 및 고정자 slot open 형상



(a) Slot open 모델 (Prototype) (b) Slot close 모델

<그림 2> 고정자 slot 유무에 따른 전자기 해석 결과

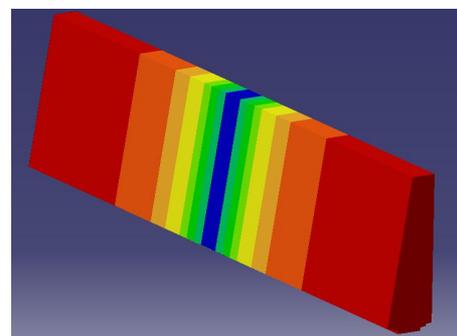
2.3 공명주파수 해석

2.3.1 공명주파수 계산

고정자 Slot open 형상이 헬름홀츠 공명기와 유사하며 공명기에서 일어나는 현상과 동일하다고 가정할 후 고정자 형상의 설계 치수에 맞춰 공명주파수를 계산하였다. 식 (1)을 이용한 고정자 Slot open 형상의 공기 공명 주파수는 3152.5Hz 이다. 모터의 무부하 구동시 외기 온도를 30°C 로 가정하여 음속을 349.5 m/s 로 계산하였다.

2.3.2 공명주파수 해석

고정자 Slot open 형상의 공명주파수를 LMS社의 Virtual.Lab을 이용하여 해석적인 방법으로 계산하였다. 유한요소모델링 프로그램을 이용하여 해석의 오차가 나지 않게 Mesh generation을 균등히 작업한 후 대상 모델의 고유진동수 해석을 시행하였고 해석 결과 3489.2 Hz로 계산 값과 유사한 결과로 나타났다.



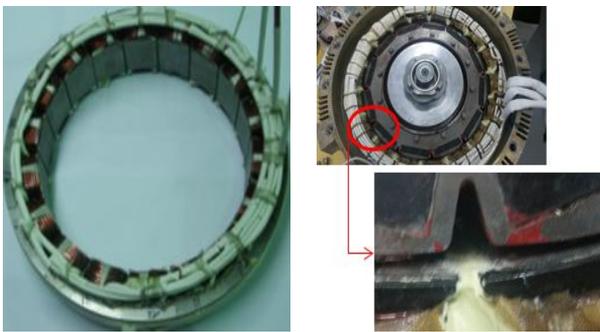
<그림 3> 고정자 Slot open 음압해석 결과

## 2.4 소음 시험

Slot open의 유무에 따른 공명주파수의 영향도 분석 및 소음 저감 형상 변형 모델의 검증에 위하여 모터 단품의 무부하 상태에서의 소음 시험을 수행하였다.

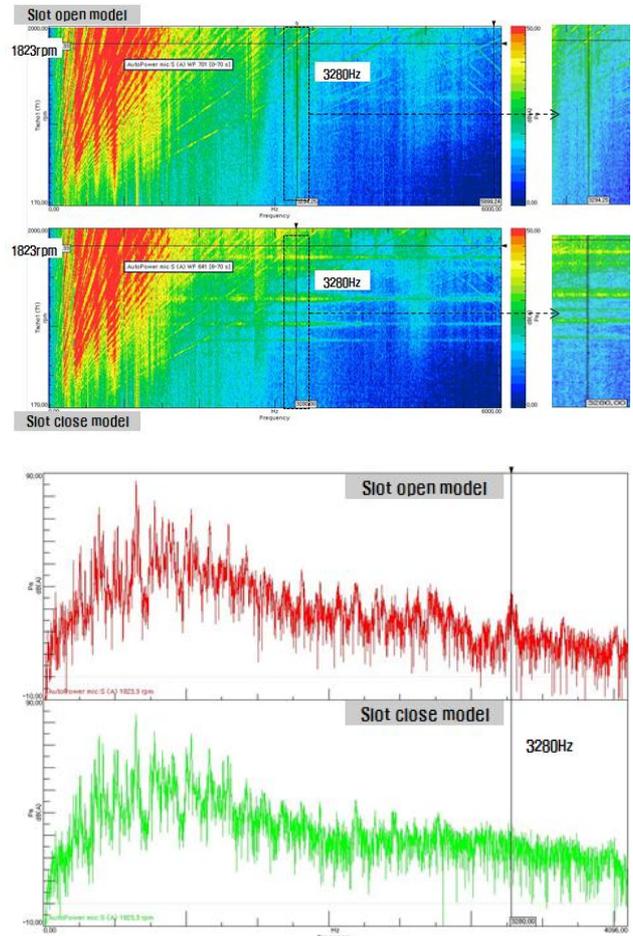
### 2.4.1 모터 단품 시험

Slot 형상에 따른 실험을 위하여 그림 4의 고정자 Slot 부에 형상의 변화를 주었다. Slot close의 경우 비자성체 처리 시 권선에 간섭을 최대한 주지 않는 방법으로 Slot close 형상을 재현하였다. 각 설계 모델의 단품 상태에서의 소음을 측정하기 위하여 그림 5와 같이 시험 장치를 구성하여 소음 및 진동을 측정하였다. 측정 조건은 무부하 구동으로 2000rpm 까지 측정하였다. 소음 측정 시험 결과는 그림 6과 같다. 1823rpm 에서 108차 성분과 일치하는 구간의 주파수는 3280Hz로 나타났으며 해석 공명 주파수 값과 유사한 주파수를 가진다. Slot open 유무에 따른 3280Hz에서의 소음레벨을 비교하면 Slot open의 경우 3280Hz에서 Peak 레벨을 가지고 있지만 Slot close 모델의 경우 소음레벨이 Slot open에 비하여 안정적인 음압대역을 가지고 음압레벨 또한 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이를 Slot open 모델의 해석 공명 주파수 값 3489.2Hz 값과 실험 데이터에서의 3280Hz 값이 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 헬름홀츠 공명기의 형상과 유사한 Slot open의 소음에 미치는 영향을 해석적, 실험적 방법으로 확인하였다.



(a) Slot open Model(Prototype) (b) Slot close model

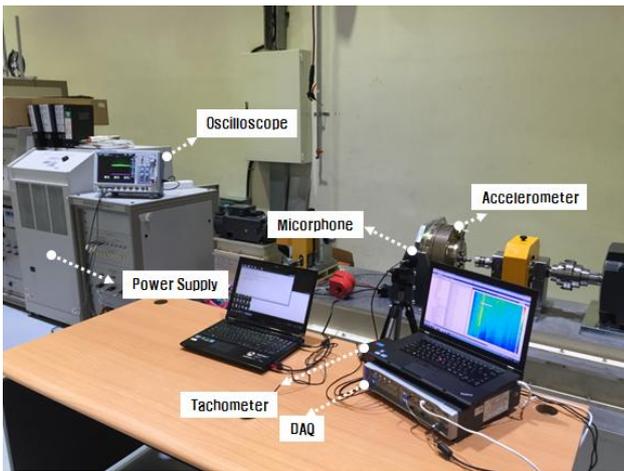
<그림 4>



<그림 6> 모터 소음 시험 결과

### [참 고 문 헌]

- [1] Jae-Woo Jung, Sang-Ho Lee, Geun-Ho Lee, Jucg-Pyo Hong, Dong-Hoon Lee, and Ki-Nam Kim, "Reduction Design of Vibration and Noise in IPMSM type Integrated Starter and Generator for HEV," IEEE Trans. Magn, vol. 46, no. 6, pp. 2454-2457, June 2010.
- [2] Sang-Ho lee, Jung-Pyo Hong, Sang-Moon Hwang, Ji-Young Lee, and Young-Kyoum Kim, "Optimal Design for Noise Reduction in Interior Permanent Magnet Motor," Industry Applications Society 40th Annual meeting, Oct., 2006
- [3] Sang-Hyun Seo, and Yang-Hann Kim, "Acoustic Characteristics of a Silencer by Using Array Resonators", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 10, pp. 975~982.



<그림 5> 모터 소음 · 진동 측정 시험 구성

## 3. 결 론

전기자동차 구동용 전동기의 고정자 slot open 유무에 따른 소음의 원인을 유추하고 비교모델을 통한 해석적, 실험적 방법을 통하여 고유진동수에 의한 소음의 영향력을 분석하였다. 사람의 귀에 민감한 음역대에서 소음이 발생할 경우 장비를 구동하는 사용자에게 불쾌감을 줄 수 있으므로 이를 잘 분석한다면 차량용 모터의 소음 개선을 위한 설계가 효과적으로 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다. 향후 다른 형상의 전동기를 대상으로 Slot open의 유무에 따른 고유진동수와의 상관관계에 대한 연구가 추가적으로 이루어 져야 할 것으로 판단된다.