

청각적 감성 어휘체계 기반 차량용 시트의 감성 품질에 관한 연구

김성욱*, 김기신**, 김영춘***

*경북IT융합산업기술원

**KS Tech

***공주대학교 기계자동차공학부

e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

A Study on the Emotional Quality of Vehicle Seats based on the Acoustic Emotion Adjectives

Sung-Yuk Kim*, Ji-Hyeon Byeon*, Key-Sun Kim**, Young-Choon Kim**

*Gyeongbuk Institute of IT Convergence Industry Technology

**KS Tech

**Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약

본 연구에서는 차량용 시트의 구동부에서 발생하는 소음에 대한 원인 규명과 이들이 인간의 청각적 감성에 미치는 영향을 파악함으로써 구동부의 설계 변수가 감성 품질에 미치는 영향을 파악하는 것에 목적을 두었다. 우선 전동기의 FEM Modal 해석과 모터 다이내모미터 실험을 통해 회전자의 굽힘 모드가 구동 소음의 주원인임을 확인 할 수 있었다. 여기서 굽힘 모드의 증폭은 전자기력 성분의 변동, 브러시 편마모, 축 정렬 불량 등을 유발하였으며, 그 중 전자기력 성분의 변동이 청각적 감성 품질에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

1. 서 론

자동차 산업은 과거 효율성을 높이기 위한 기술 개발에 초점을 두었으나, 최근에는 운송 수단의 기본적인 역할 뿐만 아니라 개인적인 생활공간으로써의 역할에 비중이 높아지고 있다[1]. 이로 인해 현대 사회에서는 감성 품질 만족이라는 소비자의 욕구가 자동차를 선택함에 있어서 상당히 중요한 요소로 자리 잡고 있다[2]. 따라서 최근 자동차 산업계에서 소비자의 감성적 요구 조건에 능동적으로 대처하기 위해 인간공학, 인체 구조 메커니즘, 감성 공학, 심리학, 생리학 등 감성에 대해 다차원적인 관점에서 연구를 진행하는 추세이다[3]. 그 중 차량 내부에서 발생하는 소음은 감성 품질의 저하에 가장 중요한 원인으로 자리잡고 있으며, 이로 인해 소음 저감 및 음질의 향상을 위한 연구가 현재까지도 활발히 진행 중이다. 특히 시트는 내장 부품 중 인체와 가장 밀접하게 접촉되는 모듈로, 소음과 진동을 탑승자에게 직접적으로 전달하는 매개체로 작용하기 때문에 감성 품질에 매우 민감하게 반응하게 된다. 따라서 시트에서 발생하는 물리적 음압 수준의 저감 뿐만 아니라 질적 수준을 높일 수 있는 감성 연구가 필요한 실정이다[4-7]. 따라서 본 연구에서는 차량용 시트의 구동부에서 발생하는 소음에 대한 원인 규명과 이들이 인간의 청각적 감성에 미치는 영향을 파악함으로써 구동부의 설계 변수가 감성

품질에 미치는 영향을 파악하는 것에 목적을 두었다.

2. 본 론

2.1 구동부 메커니즘과 소음원

차량용 시트의 구동부에서 발생하는 작동 소음은 크게 정상상태 소음과 충격성 소음, 그리고 결함에 의한 소음으로 분류할 수 있다. 정상상태 소음은 DC모터와 감속기어에서 대부분 발생하며, 그 외 구동부의 프레임 부분에서의 동적 거동 특성으로부터 구동 소음의 크기 변동을 일으킨다. 다음으로 충격성 소음은 초기 기동 시 발생하는 충격으로부터 발생하며, 마지막으로 결함에 의한 소음은 베어링 결함, 축 정렬 불량, 내구로 인한 간극 등 구동 시스템의 손상 또는 결함으로부터 야기된다. 본 연구에서는 시트 구동부의 작동 소음 중 정상상태 소음의 특성에 목적을 두었으며, 그 중 가장 영향력이 큰 전동기 소음에 대한 실험, FEM해석, 그리고 청각적 감성 분석을 진행하였다.

시트 구동부의 소형 전동기는 일반적으로 DC모터를 사용하며, 소음은 크게 전기적 소음과 기계적 소음으로 나눌 수 있다.

우선 기계적 요소에는 브러쉬와 정류자 간의 마찰 소음, 정류자 슬롯이 브러쉬를 지나칠 때 발생하는 충격소음, 질량 불

균형 및 축 정렬 불량에 의한 저주파 소음이 존재하며 다음과 같다.

$$f_{brush} = mLCM_B f_f \quad (1)$$

$$f_{unbalance} = m f_r \quad (2)$$

$$f_{Misalignment} = 2m f_f \quad (3)$$

다음으로 전기적 요소에서는 주로 전자기 맥동 토크 (Electro-Magnetic Pulsation Torque)로부터 발생하며, 그 중 코깅 토크 $T_{cogging}$ 는 통전 유무와 관계없이 자석과 고정자 슬롯의 기하학적 형상으로부터 존재하는 것으로 미소 회전각 변화에 따른 자기에너지의 변화로 정의할 수 있으며 다음과 같다.

$$T_{cogging} = \frac{\pi}{4} D L_{stk} \sum_n \frac{\sin(n\sigma L_{stk})}{n\sigma L_{stk}} \Lambda_n f_n \sin(n\zeta) \quad (4)$$

여기서 $n = kS$, $k = 1, 2, \dots$, S 는 슬롯수와 극수의 최소 공배수, D 는 회전자 외경, L_{stk} 는 적층길이, σ 는 스큐각, $[\sin(n\sigma L_{stk})]/(n\sigma L_{stk})$ 는 스큐효과, Λ_n 는 공극 퍼미언스의 n 차 공간 고조파, f_n 은 자석에 의한 자속부포의 n 차 고조파, ζ 는 회전자의 회전각도이며, 코깅토크는 자석과 슬롯간의 관계에 의해 결정되기 때문에 다음과 같은 주기성을 가진다.

$$K_{cogging} = \frac{360}{LCM(pole, slot)} \quad (5)$$

여기서 LCM 은 최소공배수를 의미한다.

토크 리플 T_{ripple} 는 회전자의 회전위치에 따라 전자기력의 방향과 회전 접선 방향이 지속적으로 변동함으로써 발생하는 일종의 전자기력의 맥동 현상으로, 코깅토크 또한 토크리플의 한 종류로 분류되며 다음과 같다.

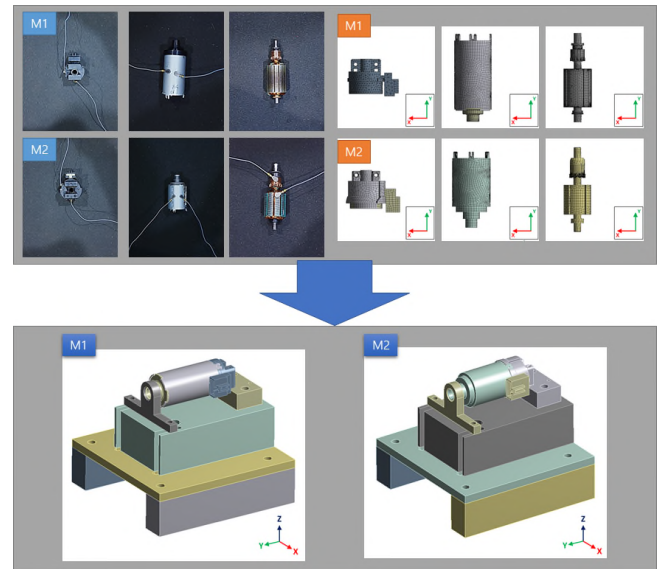
$$T_{ripple} = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{avg}} \quad (6)$$

$$K_{ripple} = \frac{360}{2 \times \text{상수}} \frac{2}{P} \quad (7)$$

2.2 해석 및 실험 방법

2.2.1 FEM Modal 해석

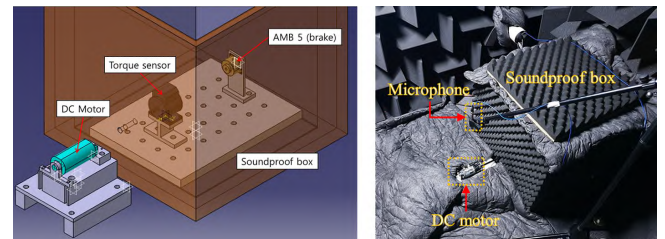
본 절에서는 소형 전동기의 구조 동특성을 파악하기 위해 Modal 시험과 FEM 해석을 병행하여 진행하였다. 아래의 그림 1과 같이 소형 전동기의 구성요소에 대한 자유경계조건에서의 Modal 시험과 FEM 해석을 수행하였으며, 시행착오법을 통해 시험과 FEM 해석 간의 correlation을 실시함으로써 FEM 해석에서의 부정확한 물성 데이터를 1차적으로 보완하였다. 다음으로 보완된 데이터를 활용하여 전동기 전체 모델에 대해 구동 조건과 동일한 경계조건을 적용하여 FEM Modal 해석을 수행하여 구동 경계조건에 대한 고유 진동수와 고유 모드를 도출하였다.



[그림 1] Modal 시험 및 FEM 해석

2.2.2 모터 다이내모 미터 실험 방법

소형 전동기의 소음 특성 실험을 진행하기 위해 그림 2와 같이 모터 다이내모 미터를 제작하였으며, 모터의 소음만을 측정하기 위해 토크센서와 브레이크에 방음박스를 설치하여 실험을 진행하였다. 실험은 완전요인설계를 활용하였으며, 설계인자는 회전방향, 정류자 슬롯수, 부하토크로 설정하였다.

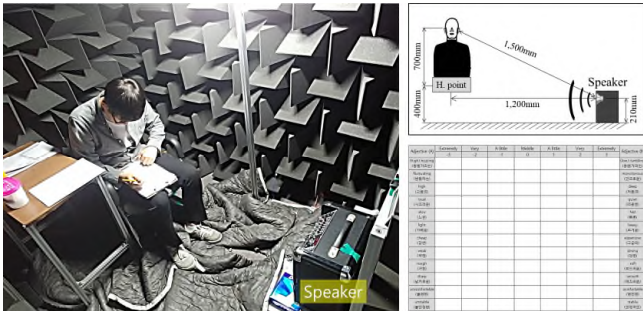


[그림 2] 모터 다이내모 미터 실험 장치 구성

2.2.3 청각적 감성 평가 방법

청각적 감성 평가는 2.2.2절에서 녹음된 음원을 활용하였으며, 음원 재생은 라우드 스피커를 활용한 모노재생방식으로

진행되었다. 이때 라우드 스피커는 자체적으로 보유한 주파수 응답특성으로 인해 실제 재생되는 음원의 특성을 왜곡하기 때문에 주파수 특성을 보정하는 작업을 우선적으로 실시한 후 평가를 진행하였다. 감성 평가의 대상 피험자는 20~30대 남녀를 대상으로 진행되었으며, 평가음원은 무작위 순, 제품에 대한 정보 배제, 피험자 간의 의사소통 통제, 평가 시간 통제 등 유의사항을 사전에 교육한 후 진행되었다.



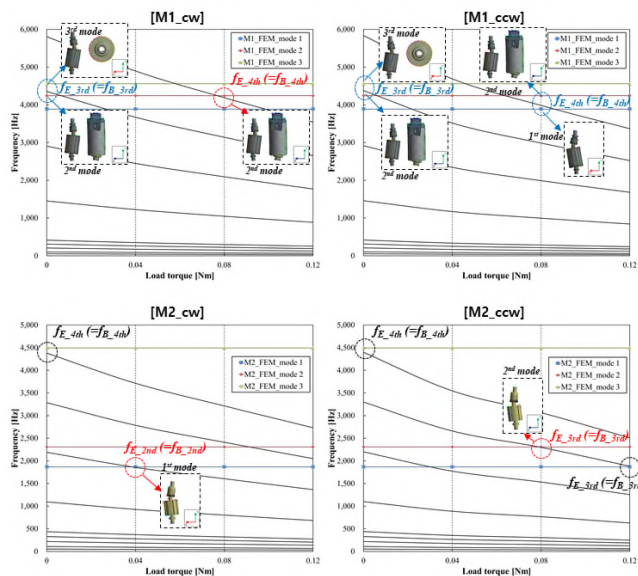
[그림 3] 감성평가 및 설문지

3. 결과 및 고찰

3.1 구동부 소음 특성

그림 4는 FEM Modal 해석에서 도출된 고유 진동수와 모터 다이내모 미터 실험에서 도출된 하모닉 성분 간의 공진 발생을 그래프로 표현한 것이다.

우선 M1모터에서는 정방향(cw)과 역방향(ccw) 모두 회전자 2차와 3차 굽힘 모드 사이에서 발생하는 불안정 마찰 소음이 발견되는 것으로 분석되었다. 이는 2개의 굽힘 모드와 브러시의 마찰계수 변화에 의해 모드 연성이 발생됨으로써 발생하는 불안정 마찰 소음으로 정방향에서는 0Nm 부하조



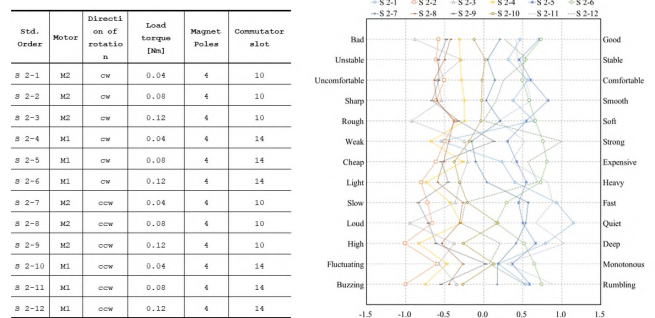
[그림 4] 전동기 회전 성분의 공진

건, 역방향에서는 0Nm와 0.08Nm에서 발생하는 것으로 분석되었다.

다음으로 M2 모터의 경우, 우선 정방향에서는 0.04Nm 부하조건에서 회전자 1차 굽힘 모드와 전자기력 2차 간의 공진으로부터 축 정렬 불량 소음의 증가가 관찰되었다. 다음으로 역방향의 경우 0.08Nm에서 회전자 1차 굽힘 모드와 전자기력 3차 성분 간의 공진에 의한 축 정렬 불량 소음이 증가하는 것으로 파악되었다. 즉, M2 모터에서는 전자기력 성분에 의해 브러시 편마모가 발생함으로써 축 정렬 불량 성분이 증가하는 것으로 분석되었다.

3.2 청각적 감성 평가 분석

감성 평가는 총 40명의 피험자가 참가하였으며, 총 6,240개 응답 중 결측값을 제외한 6,126개의 응답 데이터를 이용하여 분석을 진행하였다. 우선 피험자들 간의 점수 범위 차이에 의한 왜곡을 보정하였으며, 보정된 데이터 중 이상치(Outlier)에 대해 결측값으로 처리한 후 표준화 과정을 거침으로써 정규 분포를 만족하도록 하였다. 그 결과 그림 5의 극성 윤곽도와 같이 M1 모터가 M2 모터 대비 긍정적인 감성 반응을 보인 것으로 나타났다. 이는 정류자 슬롯수의 증가에 따른 전자기력 소음의 감소가 주 원인인 것으로 분석되었으며, M1 모터에서 발생하는 불안정 마찰 소음은 그 크기가 감성에 미치지 못하는 것으로 파악되었다.



[그림 5] 실험설계표 및 극성윤곽도

4. 결 론

본 연구에서는 차량용 시트의 구동부에서 발생하는 소음에 대한 원인 추적 및 청각적 감성 평가를 통해 구동부의 설계 변수가 감성 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 우선 전동기의 FEM Modal 해석과 모터 다이내모미터 실험을 통해 구동 상태에서의 공진 소음을 파악할 수 있었으며, 대부분 굽힘 모드의 증폭이 주 원인인 것으로 파악되었다. 굽힘 모드의 증폭은 전자기력 성분의 변동, 브러시 편마모, 축 정렬 불량 등을 유발하였으며, 특히 전자기력 성분의 변동이 청각적 감성에

가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그 외 불안정 마찰 소음의 발현을 확인할 수 있었으나, 실제 감성 평가에서는 불안정 마찰 소음이 미치는 영향은 전무한 것으로 파악되었다. 이는 불안정 마찰 소음 대비 전자기력에 의한 소음과 축정렬 불량과 같은 결합 소음의 크기가 상대적으로 상당히 크게 발생함으로써 불안정 마찰 소음이 마스킹 되는 것으로 예상되었다.

추후 소형 전동기의 기계적/전기적 소음 발생 원인과 마스킹 효과의 영향에 대한 체계적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 9, pp. 897-903, 2006.

참고문헌

- [1] Sung Yuk Kim, Ju Gwang Jang, Hyo Seong Ji, Ok Whan Kim, Key Sun Kim., "A Study on the Emotional Adjective Extraction and Subjective Evaluation of Sound Quality for Vehicle Power Seat". Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.18, No.2, pp.29-37, 2019.
- [2] Su Hyun Shin, Cheol Ung Cheong, Duck Whan Kim, Sung Soo Jung., "Evaluation of BSR Noise Properties of Instrument Panel in a Vehicle". Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.20, No.7, pp.644-650, 2010.
- [3] Se Jin Park, Sun Woong Kim., "A Automobile and Human Sensibility Ergonomics". Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.18, No.2, pp.32-39, 2001.
- [4] Sung Yuk Kim, Jong Seok Oh, Key Sun Kim., "Sensory Evaluation of Sound Quality for Vehicle Power Seat Slide Adjuster". Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.29, No.3, pp.318-326, 2019.
- [5] Naoki, S. and Yasuo, M., "Study on exterior idling sound quality evaluation method for diesel engine trucks," No. 1999-01-1739. SAE Technical Paper, 1999.
- [6] Blommer, M., Amman, S., Gu, P., Tsou, P., Dawson, V. and Vandenbrink, K., "Sound Quality Aspects of Impact Harshness for Light Trucks and SUVs," No. 2003-01-1501. SAE Technical Paper, 2003.
- [7] Park, S. G., Lee, H. J., Sim, H. J., Lee, Y. Y. and Oh, J. E., "Construction and Comparison of Sound Quality Index for the Vehicle HVAC System Using Regression Model and Neural Network Model," Transactions of