

전동식 파워스티어링 모터소음 저감을 위한 실험적 연구 An Experimental Study on Motor Noise Reduction of Electric Power Steering

유 충 준
C. J. You

(접수일 : 2008년 10월 29일, 수정일 : 2008년 11월 28일, 채택확정 : 2008년 12월 22일)

Key Words : Electric Power Steering(전동식 파워스티어링), Motor Noise(모터 소음), Steering Column(스티어링 컬럼), Main Housing Reinforcement (메인하우징 보강), System Rigidity (시스템 강성)

Abstract : EPS(Electric Power Steering) system, which has replaced the hydraulic steering system (HPS or HPAS) in many passenger cars recently, have many merits such as low energy consumption, easy mounting, light weight and improvement of environmental pollution. However, EPS system has the problem of motor noise when motor is rotated, which can make a driver feel uncomfortable. There are many techniques to solve those problems, but they are not clear. It is necessary to evaluate the mechanical noise in steering systems, because an EPS has vibration sources such as at the motor gear reducer, manual gears and intermediate joints. In this paper, reduction technique of EPS motor noise is introduced

1. 서 론

최근 유가 및 공해문제가 대두되면서 자동차에서는 연비 저감, 배기가스 규제 대응 등의 이유로 조향장치 시스템에서 신기술인 전동식 파워스티어링(Electric Power Steering, 이하 EPS) 시스템의 사용이 대폭 증가하는 추세에 있다. EPS 시스템은 배터리의 전기에너지로 모터를 회전시켜 조향력을 어시스트 하는 방법으로 기존 유압 파워 스티어링 시스템에 비해 고연비 성능, 경량화, 구조 단순화, 탑재의 용이성 및 친환경성 등의 장점을 가지고 있다¹⁾. 또한 기존 유압 파워 스티어링 시스템을 갖춘 일반 승용차 조향계의 조향휠에서는 타이어 불평형에 의한 시미현상이 나타나는 반면에²⁾, EPS 시스템의 모터는 시미현상을 야기하는 타이어 불평형에 의한 가진력의 전달을 억제한다. 그러나 이러한 많은 장점이 있음에도 불구하고 EPS 시스템에서는 유압 파워 스티어링 시스템과는 다른 소음 문제가 발생되고 있으며 이러한소음문제는 차량 개발입장에서 보면 고질적인 문제로 다루어지고 있다. EPS

시스템에서 발생하는 대표적인 소음으로는 모터에 의해 발생하는 큰 입력 토크와 타이어로부터 전달되는 큰 입력 하중에 의한 충격 소음인 시스템 래틀 소음, 운전자가 스티어링 휠을 회전할 때 발생하는 모터 소음 등으로 EPS 시스템에서는 기존 유압 파워스티어링 시스템에서 발생하지 않았던 EPS 시스템만이 가지는 고유의 소음이 발생하게 된다. 이러한 소음을 감소시키기 위한 학문적 연구가 많이 있어왔으며^{3,4,5,6)}, 많은 완성차 업체 및 부품 업체에서 소음 저감 개선 방안을 도출하여 적용하고 있으나 그 효과가 미흡한 상태이며 소음 저감을 위한 개선 노력은 계속되고 있다. 더욱이 모터는 장착 위치에 따라 실내소음에 끼치는 정도의 차이가 있으며, 스티어링 컬럼에 장착되는 경우 실내에 모터가 위치하므로 소음에 끼치는 영향은 매우 크게 된다. 모터에서 발생하는 소음을 감소시키는 개선을 위한 방법에는 여러 가지가 있으나 차량 제조업체에서는 시스템의 원가 상승에 영향을 주지 않고 비교적 쉽게 개선할 수 있는 방법을 추구하고 있다.

본 연구에서는 이러한 전동식 파워스티어링 시스템의 소음 중에 특히 조타 시 운전자가 쉽게 감성적으로 느낄 수 있는 고주파 소음인 모터 소음 현상에 대하여 저감할 수 있는 방법으로서 모터 단품에

유충준(책임저자) : 경기대학교 기계시스템공학부
E-mail : chungjun@kyonggi.ac.kr, Tel : 031-249-9816

의한 개선, 제어 로직에 의한 개선 및 시스템 강성 향상에 의한 개선 방법이 있는데, 각 방법에 대하여 실험을 통하여 개선 효과를 고찰하고자 한다.

2. 모터의 소음 현상 및 원인

일반적으로 전동식 파워스티어링 모터의 소음은 보통 운전자가 조향을 위하여 스티어링 휠을 돌릴 때 발생하는 고주파성의 소음으로 휘~(스윽~) 등의 소음으로 인식할 수 있으며, 특히 주정차중 급조타 시 즉, 스티어링 휠을 초당 한 바퀴 반 이상 회전시킬 때 모터의 급회전으로 인해 소음이 발생하며 운전자는 소음을 크게 느낄 수 있다.^{7,8)} 모터의 소음은 Fig. 1 에서 알 수 있듯이 모터 회전에 의해 모터의 소음이 발생하고 메인 하우징을 통하여 스티어링 컬럼을 경유하여 카울 크로스 멤버를 통해 스티어링 휠로 전달되는 전달 경로를 갖고 있다.

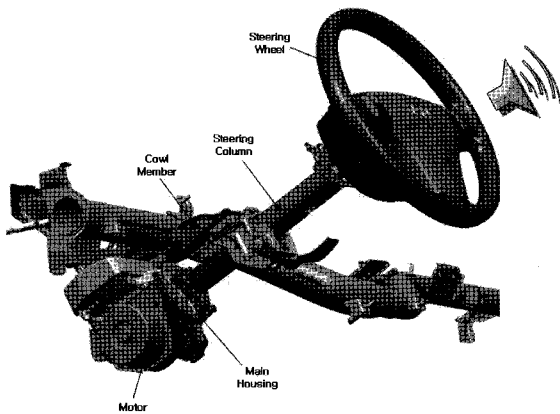


Fig. 1 Transmission path of motor noise

Table 1과 Fig. 2는 현재 전동식 파워스티어링이 적용되고 있는 양산 차종의 실차 운전석의 소음을 계측한 것으로 C < A < D < B 차종 순으로 소음 레벨이 크고, 실제로 운전자가 느낄 수 있는 소음 불만 수준과 비례한다. 실차에서 운전자가 느낄 수 있는 소음을 측정된 결과는 차량의 특성에 따라 달라질 수 있으나, 차량 실측 결과 운전석 소음 기준으로 모터 소음 레벨이 주파수 대역별로 48 dBA 이상이 되면 문제 수준으로 차량 B, D 차종에 소음 문제가 있다. 또한 스티어링 경로를 따라 소음이 증폭되어 모터 자체의 소음보다 커지게 되는데 실질적으로 전달 경로의 강성을 얼마만큼 적절하게 결정하느냐에 따라 모터 소음 저감 효과를 크게 얻을

수도 있게 된다.

Table 1 Noise level(SPL) and motor noise

Car	Motor Noise (dBA)	Freq. (Hz)	SPL(L_{eq}) (dBA)
A	43.9	630	53.7
B	51.3	630	55.1
C	45.0	630	51.6
D	48.0	500	54.7

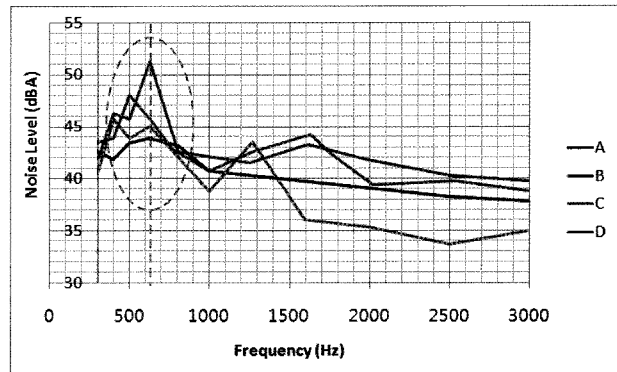


Fig. 2 Noise level in vehicles

3. 전동식 파워스티어링 모터의 소음 개선

모터에서 발생하는 소음을 감소시키는 개선적인 방법은 서론에서 언급한 3가지 방법으로서 제어 로직에 의한 개선 방법 외에 크게 다음과 같은 방법으로 개선이 가능하다. 첫째는 모터 단품의 소음 레벨 저감이고 둘째는 시스템의 강성을 향상시키는 즉, 모터의 소음 전달 경로에 대한 강성을 개선하는 것이다. 모터 자체적인 소음 개선으로는 모터 사이즈 및 모터 지지구조 변경으로 가능하고, 따라서 투자비 및 개발 기간이 과대한 한계성이 있기 때문에 본 논문에서는 주로 모터의 소음 전달 경로 강성 개선에 대하여 논하고자 한다.

모터에서 발생하는 소음을 감소시키는 개선을 위해서는 우선 전동식 파워스티어링 단품 상태에서의 소음 레벨을 규정하여야 한다. 운전석에서의 실차 모터 소음 레벨과 단품 상태에서의 소음 레벨을 일치시키기 위하여 실차에서의 소음 문제품과 양품을 탈거하여 단품 계측을 하였다. 모터 회전수는 인풋 샤프트 회전수에 워휠과 워샤프트의 기어비와 18차 주파수 성분을 고려하여 계산한다.³⁾ 기어비가 20.5인 경우 각각 인풋 샤프트 회전수별 주파수를 구하면

- 0 ~ 1 rev/s : 0 ~ 369 Hz,
- 1 ~ 2 rev/s : 369 ~ 738 Hz,
- 2 ~ 3 rev/s : 738 ~ 1,107 Hz

로 나타낼 수 있다.

Fig. 2에서의 실차 모터 소음 시험 결과로부터 630 Hz 대역 부근에서 모터 소음 문제가 발생하는 것을 알 수 있었는데, 이는 상기 계산에 의해 스티어링 휠 급조타시 조건이 1.5 ~ 2 rev/s 으로 500 ~ 750 Hz 구간과 일치 한다. Fig. 3은 주파수대별 전동식 파워스티어링 단품의 양품과 문제품의 소음 레벨을 측정 한 결과이며, 630 Hz 대역에서 모터 소음의 차가 큰 것을 보여주고 있다. 이 때 전동식 파워스티어링의 측정 위치에 따라 소음의 크기가 달라지기 때문에 모터하우징 상단에 가속도계를 장착하여 소음 크기를 측정하였다.

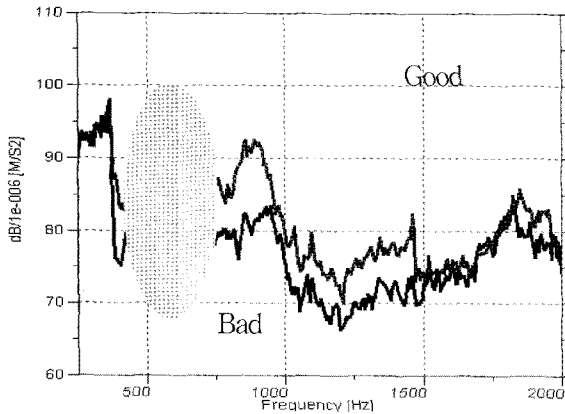


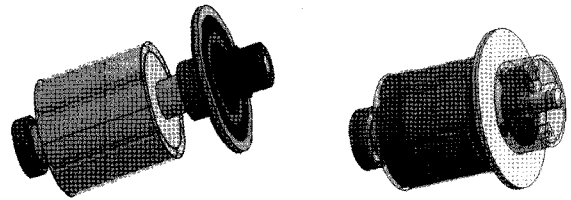
Fig. 3 Result of motor noise test

3.1 EPS 모터 단품 개선

모터의 구성은 브러쉬레스 모터의 경우 기본적으로 영구자석으로 된 로터와 자기장 형성을 위한 코일이 감겨져 있는 스티어터로 구성된다. 로터의 회전에 의해 토크가 발생하고 그 토크에 의해 전동식 파워스티어링이 작동하게 된다. 로터의 회전 시 소음이 발생하고 그 소음이 모터 소음의 원인이 된다. 모터 소음이 발생할 때의 차수분석을 하면 로터의 6 슬롯, 스티어터의 9 폴로부터 6과 9의 최소 공배수인 18차 성분에서 노이즈가 발생한다. 18차 성분을 줄이기 위해서는 로터 슬롯 수 또는 스티어터 폴수를 변경하여 차수 변경을 통해 개선 할 수 있으나 모터 고유의 특성과 출력이 변경되는 문제와 모터 신규 개발에 대한 투자비, 그리고 개발 기간의 부담이 발생한다.

이러한 차수 변경의 제약에 따라 다른 방법으로

서 모터 내부 구조 변경을 고려해 볼 수 있다. 즉, 로터 회전 강성을 높이는 방법으로 브러쉬레스 모터의 경우 Fig. 4와 같이 현재 베어링에 의해 단단 지지로 된 로터를 양단 지지로 변경하는 방법이 있으며, 로터의 안정적인 지지구조 확보를 통하여 모터에서 발생하는 소음을 감소시키는 효과를 기대할 수 있다.



a) 1 point support b) 2 point support

Fig. 4 Support of motor bearing

모터 단품 개선의 또 다른 방법으로는 모터 내부의 댐핑 구조를 형성하는 것이다. 실제로 로터 회전 시 발생하는 진동 및 소음에 대해서는 내부적으로 절연을 할 수 있는 장치는 없다. 현재 발생하는 진동 및 소음을 그대로 방출할 수밖에 없는 구조를 Fig. 5와 같이 로터 회전 진동을 절연할 수 있는 O-ring을 모터 축 회전 베어링에 적용한다면 모터에서 발생하는 소음을 저감시키는 효과를 얻을 수 있다.

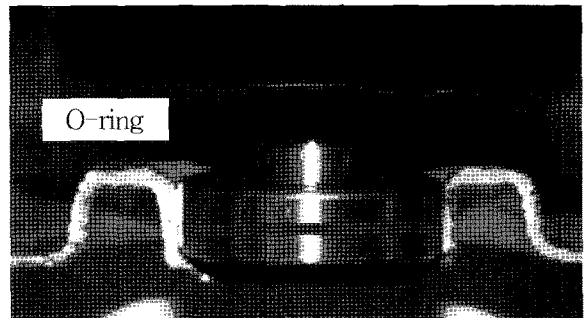


Fig. 5 Addition of motor bearing O-ring

O-ring 적용후 모터 노이즈 계측 결과 3 ~ 4 dBA의 소음 저감 개선 효과가 있으나 내구 등의 충분한 검증이 필요하며 양산 대응 기간을 고려하여 Fig. 4에서와 같이 양단 베어링 지지방식만 채택하였다.

3.2 EPS ECU LOGIC에 의한 개선

모터 고속 회전 영역에서의 최대 출력 토크를 위

한 제어기법으로 모터 약계자 제어에 의한 개선을 할 수 있다.⁸⁾ Fig. 6과 같이 모터에 약계자를 적용하여 상대적으로 급조타 시 즉, 빠른 모터 회전 시 빠른 모터회전에 의해 발생하는 모터 노이즈는 부분적으로 저감시킬 수 있으며, 실제로 초기 53 Nm의 모터 토크를 58 Nm으로 변경 적용함으로써 980 rpm 이상 특정 대역에서의 소음을 억제하였다. 약계자 제어 방식은 모터와 전동식 파워스티어링 특성에 맞는 적절한 튜닝 값이 필요하고 또한 조타력 무거움에 대한 확인이 필요하다.

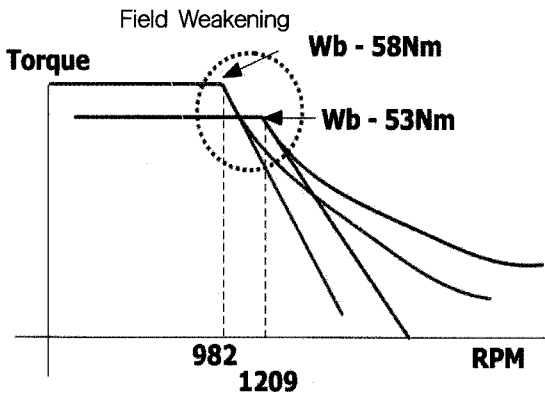


Fig. 6 Motor field weakening control

3.3 시스템 강성 향상을 통한 개선

전동식 파워스티어링 모터 소음은 모터 단품에 의한 소음 원인이 있지만 전달계를 통한 공진 또는 증폭에 의하여 소음이 증대 된다. 전동식 파워스티어링 모터에서 발생한 소음은 하우징을 통하여 스티어링 컬럼 샤프트로 전달되고 스티어링 컬럼이 마운팅 된 차체의 카울 크로스멤버로 전달되어 소음이 증폭되어 진다. 또한 스티어링 휠에 전달되어 스티어링 휠이 소음을 증대하는 역할도 하게 된다. 따라서 이러한 전달 경로에 의한 모터 소음 증대를 막기 위해서는 각 부분의 강성을 증대하는 것이 중요하다. 운전자의 조향에 의해 모터가 회전하여 소음이 발생하고 가장 먼저 소음을 전달 받게 되는 부분은 전동식 파워스티어링 하우징이다. 따라서 소음이 발생하는 가장 근접한 부근에서 소음을 줄여 준다면 소음 저감에 가장 효과적이라 할 수 있다.

하우징은 크게 모터를 감싸고 있는 모터 케이스와 전동식 파워스티어링 파워팩(센서, 감속기, 베어링)을 감싸고 있는 메인 하우징으로 구성 된다. 하우징의 강성 증대를 위하여 각 부분에 대하여 강성 보강 효과를 확인한 결과 다음과 같은 결과를 얻을

수 있었다. Fig. 7은 모터케이스 강성 보강을 한 것으로 그림과 같이 모터 케이스부 리브를 추가 하였다. 추가 후 단품 소음 측정 결과 0.5 dBA의 적은 모터 소음 저감 개선 효과를 얻을 수 있었지만 강성 보강에 대한 방향을 정할 수 있었다.

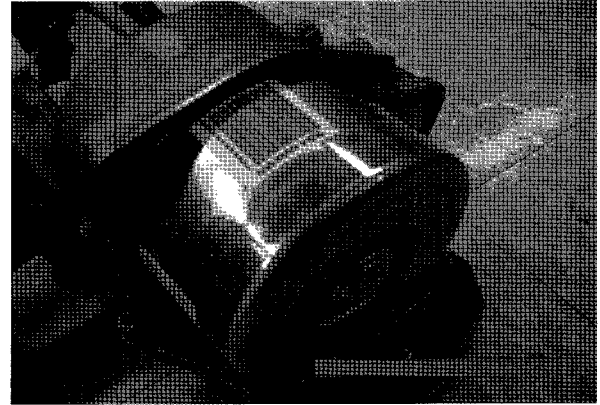


Fig. 7 Addition of motor case reinforcement

메인 하우징 강성 보강 효과를 파악하기 위하여 Fig. 8와 같이 강성 보강을 하였다.

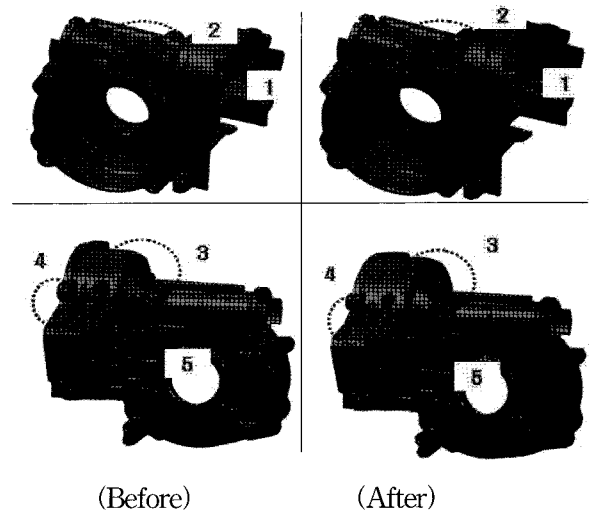


Fig.8 Reinforcement of main housing

강성 보강 위치는 그림과 같이 모터 조립부 치수 증대(1), 지지면적 증대(2), 각 부분 리브(3, 4, 5)를 추가 하였다. Fig. 8과 같은 메인 하우징 보강 후 단품 측정결과 Fig. 9와 같이 500 ~ 750 Hz 영역에서 단품기준으로 기존 대비 5 dBA의 비교적 큰 소음 저감 개선 효과를 볼 수 있었다. 이와 같이 상기 여러 가지 강성 보강의 시험 결과를 통하여 모터 소음 전달 경로를 보강함으로써 각 부분의 강성 보강 효과에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

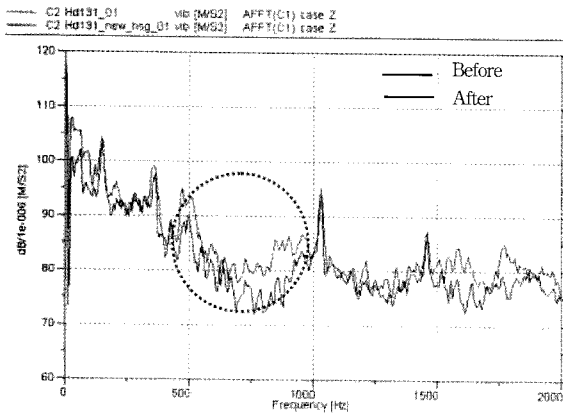


Fig. 9 Effect of main housing reinforce

4. 결 론

본 연구에서는 전동식 파워스티어링 모터에서 발생하는 소음을 감소시키는 개선을 하기 위해 모터 단품 개선, 제어 로직의 개선 및 하우징의 강성 보강 등 세 가지 방법으로 접근하여 모터에서 발생하는 노이즈 감소 개선 정도를 확인하였다. 각 시스템의 상태에 따라 소음 저감량이 달라질 수 있음을 확인하였으며, 측정 결과로부터 개선 방법의 가이드를 제안 할 수 있었다.

지금까지 제안한 방법 이외에 차체의 카울 크로스 멤버 강성보강에 의한 효과를 제안할 수 있으나, 본 연구에서는 양산차를 대상으로 시험했기 때문에 변경 범위에 한계가 있어 시험을 행하지는 못하였다.

메인 하우징의 강성 보강 결과로부터 전동식 파워스티어링을 장착하고 있는 카울 크로스 멤버의 강성 보강 효과는 모터에서 발생하는 소음 저감 개선에 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 추정되며 향후 보다 보완적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. W. Ijiri, T. Tsutsui, 2003, "Technical Trends of Electric Power Steering Systems", Koyo Engineering Journal Edition NO. 162.
2. S. K. Park, S. K. Song, Y. H. Lee and K. K. Song, 2000, "Shimmy Analysis Program Development of Steering System for a Passenger Car", JKSPSE, Vol. 4, No. 2, pp. 65 ~70.
3. Hongling Kang, 1995, "The Study of DC Motor Noise and Vibration", SAE Transactions Vol. 104, 951350.
4. Takahashi Miyoshi et al., 2006, "Design of DC Brushless Motor for EPS to Reduce Cabin Noise", SAE Technical Paper Series, 2006-05-0534.
5. Hideki Ishii et al., 2007, " Identification of Noise Source in Electric Power Steering System Using Wavelet Transform", SAE Technical Paper Series, 2007-01-2272.
6. Y. H. Kim et al., 2007, "Finite Element Model Updating and Vibration Analysis of PMDC Motor Rotor System", JKSPSE, Vol. 11, No. 1, pp. 20~27.
7. Toshinori Tannaka, 2000, "An Advanced Electrical Power Steering Motor(1)", SAE Technical Paper, 2000-03-06.
8. Toshinori Tannaka, 2001, "An Advanced Electrical Power Steering Motor(2)", SAE Technical Paper, 2001-03-08.