

〈논 문〉

차량용 윈드쉴드 와이퍼 모터의 단품 및 실차시험을 통한 소음 저감 연구

A Study of Interior Noise Reduction through In-Vehicle Measurement
Test to the Windshield Wiper Motor System

최 창 환* · 임 상 규*

Chang-Hwan Choi and Sang-Gyu Lim

(1998년 5월 14일 접수 : 1998년 8월 6일 심사완료)

Key Words : Wiper Motor(차량용 와이퍼모터), Brush(브러쉬), Armature Shaft(전기자 축), Yoke(요크), Commutator(정류자), Frequency(주파수), Order(차수), FRF(주파수응답함수)

ABSTRACT

The interior noise generated by the windshield wiper system including a wiper motor, the motor mountings and linkages is considered as a structure-borne noise. The structure-borne noise is closely related with the system vibration which was transmitted into interior cabin through the car body. In this study, the frequency characteristics of vibration in the wiper motor system were first identified through the frequency analysis. Then effects of the wiper motor mountings and linkages on the vehicle interior noise were studied through in-vehicle measurements. Finally a possibility of noise reduction at a certain frequency was revealed from the study.

1. 서 론

차량용 윈드쉴드(windshield) 와이퍼모터(wiper motor)는 우천시의 운전자의 안전주행을 위한 시계확보를 위해 꼭 필요한 부품이다. 와이퍼 모터의 개발은 1916년에 처음 수동식이 장착된 이래로 1930년대엔 공기식 모터에 의한 구동이, 1950년대엔 오늘 날과 같은 전기식모터에 의해 구동이 이루어 지는등 계속적으로 발전되어 왔다. 하지만 와이퍼모터 시스템으로부터 발생하는 작동 소음의 저감에 대

한 관심이 높아진것은 승용차에 있어 엔진에 의한 소음이 어느정도 저감된후 다른 부위에 의한 소음이 전체 실내소음에 영향을 미치기 시작한 최근에 들어와서이다. 또한 와이퍼모터에 의한 작동소음은 일부 방사(radiation)에 의한 성분도 있으나 90%는 모터로 부터의 진동이 차체를 통해 실내로 전달된 고체음(structure-borne noise)에 그 원인이 있다.⁽¹⁾

따라서 본 연구는 자동차용 와이퍼모터(wiper motor)의 진동에 의해 발생하는 실내 소음을 단품 시험을 통하여 진동 주파수 기여도 특성을 조사하고, 이를 토대로 실차에 장착된 상태에서의 실내소음 성분에 주 영향을 끼치는 고체음의 전달경로를 확인하여 그러한 소음의 저감을 위한 노력의 일환으로 실시되었다.

* 정회원, 삼성전기 자동차부품연구소 NVH팀

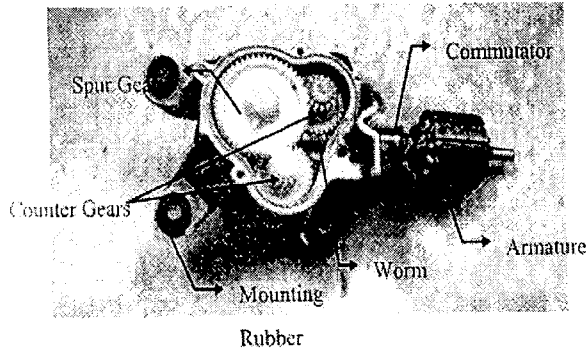


Fig. 1 Structure of the wiper motor system

2. 전차 와이퍼 모터의 기본구조

승용차용 윈드실드 와이퍼모터는 전기에너지를 회전에너지로 바꿔주는 모터부와 이를 감속하여 와이퍼구동에 필요한 토크와 회전수로 변환시켜주는 기어부로 나누어 지는데 아마추어(armature), 브러쉬(brush), 커뮤테이터(commutator) 등이 모터부에 속하며 워엄(worm), 2개의 카운터기어(counter gear) 그리고 스피기어(spur gear) 등이 기어부에 속한다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 승용차의 전차 와이퍼 모터 (front wiper motor)의 구조를 보여준다.

3. 단 품 시 험

3.1 서론

실차 상태에서의 윈드실드 와이퍼모터 시스템에 의한 실내소음을 저감시키기 위해서는 기본적으로 차량에 부착되지 않은 단품상태에서 모터부와 기어부와 같은 와이퍼모터를 이루는 주요 부품들의 주파수에 따른 소음 기여도를 분석하여 이들 각 성분이 실차 부착상태에서 어떻게 영향을 받는지 조사 할 필요가 있다. 이를 위해 와이퍼모터 단품 시험을 다음과 같이 실시하였다.

3.2 단품시험장치 Set-Up

단품시험을 하기위해서 규정전압(13.5 V)에서 에이징(aging : 무부하 상태에서 모터의 상태가 안정될 때까지 일정한 회전수(RPM)으로 모터를 공회전 시키는 것)을 시킨후 시험을 하였다. 시험장치의 set-up은 Fig. 2와 같다.

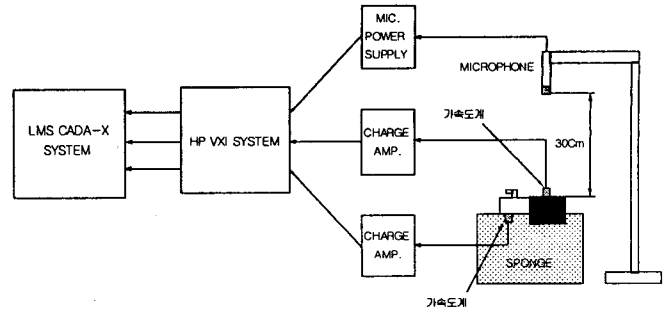


Fig. 2 Test set-up for a wiper motor component measurement

3.3 주파수 분석 및 차수분석을 통한 기여도 분석

실차에서 윈드실드 와이핑(wiping) 시스템에 의한 실내소음은 전술한바와 같이 고체음(structure-borne noise)이 주 원인이다. 이 소음을 주파수분석하여보면 와이퍼모터 시스템에 의한 진동이 그대로 차체를 타고 전달되므로 모터에 의한 진동의 주파수와 실내소음 주파수가 밀접한 관계를 갖게된다. 또한 단품상태에서 와이퍼모터의 각 부품에 의한 실내소음의 기여도분석을 하기위해서 주파수 분석을 실시하며 이 결과를 확인하기 위해 각 부품에 의한 진동의 기본주파수를 알아야 한다.

본 시험에서는 단품상태에서 각 부품에 의한 이론상의 기본주파수가 실제로 계측시험에서 잘 일치하는지와 그때의 진동량의 기여도를 지배하는 성분이 이론적으로 타당한지를 분석해 보고 또한 모터의 회전속도를 런업(run-up) 시켰을때 평균합 차수(averaged summed order)에 의한 기여도를 분석해보았다.

(1) 와이퍼모터의 기본주파수

와이퍼 모터 시스템의 워엄기어(worm gear)와 카운터 기어(counter gear)에 의한 기어진동의 기본주파수는 작동 회전수에서 기어의 감속비와 워엄이 2열인 것을 고려하여 140 Hz 정도로 예측되며, 브러쉬(brush)와 커뮤테이터(commutator)의 섭동에 의한 주파수 성분은 커뮤테이터의 슬릿(slot)수, 12개를 고려하여 약 840 Hz 정도일 것으로 예측되었다.

그밖에도 마그네트(magnet)에 의한 자기소음과 스피기어(spur gear)에 의한 소음등이 있으나 여기서는 고려하지 않기로 한다.

(2) 차수분석

차수분석을 하는 목적은 와이퍼모터의 속도를 증가(run-up)시킬때에 평균합상(averaged sum)에서 과연 몇 차 성분이 전체의 진동과 음압을 주도하는지 판별하고 그 차수와 관련된 부품을 조사, 분석

하기 위함이다. 차수를 계산하는 방법은 기본적으로 모터의 회전수에 기어의 감속비(reduction ratio)를 고려하여 전기자 축이 1회전 할때를 1차로 정한다. 또한 이 연구에서 사용된 와이퍼모터는 커뮤테이터의 슬릿 수가 12 이므로 전기자 축이 1회전 할때 브러쉬 는 12번 섭동되어 12차 성분이된다.

3.4 단품시험 결과 및 분석

앞서 구해진 기본 주파수에서 실제의 와이퍼모터

단품의 진동특성이 잘 일치하는지를 확인하는 시험을 실시하였으며 Fig. 3은 주파수에 대한 진동 가속도값을 나타낸다.

Fig. 3(a)에서는 전기자축이 일정하게 회전할때의 요크(yoke)부(전기자를 둘러싸고 있는 원통형 셀)에서 측정된 진동의 주파수 성분을 나타내는데 브러쉬에 의한 기본주파수와 거의 일치하는 849 Hz에서 가장 기여도가 크게 나타났다. 이는 요크부가 커뮤테이터, 브러쉬를 포함하고 있기때문에 당연한 결과이다.

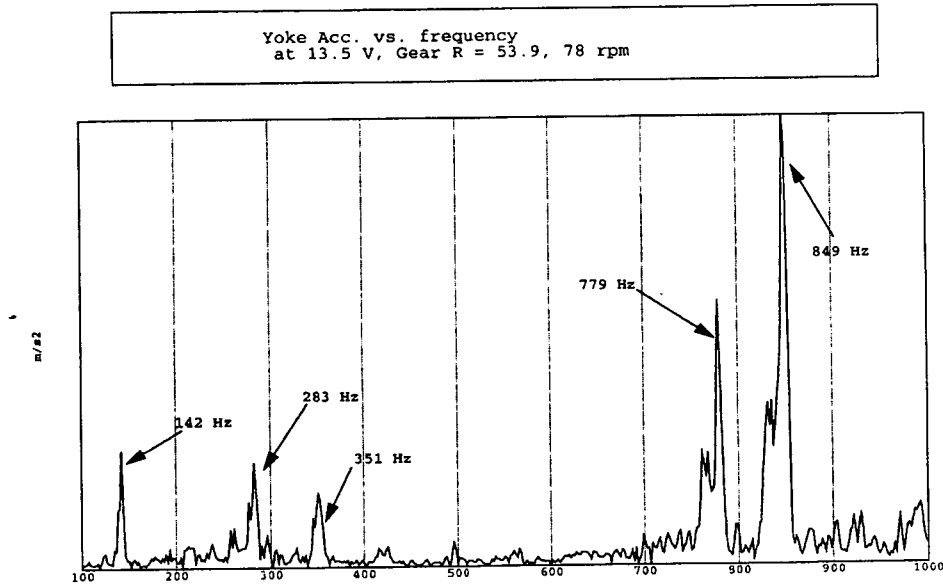


Fig. 3(a) Frequency response of the vibration at the yoke

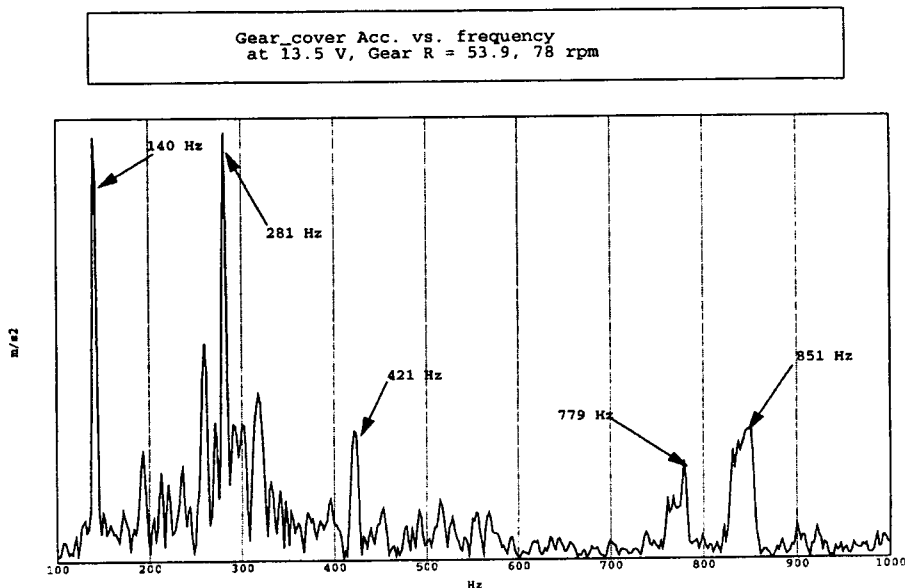


Fig. 3(b) Frequency response of the vibration at the gear cover

또한 Fig. 3(b)를 보면 카운터 기어와 워엄에 의한 진동의 기본주파수(140 Hz)와 이의 281 Hz에서의 고조파(harmonics)가 큰 기여도를 갖는데 이는 측정된 가속도 센서의 부착위치가 기어카버이므로 또한 당연한 결과라고 사료된다.

Fig. 4는 와이퍼모터의 속도를 증가(run-up)시키며 각 회전수에서의 주파수에 따른 진동 기여도 차수를 통해 분석한 결과이다.

Fig. 4(a)은 요크부에서 측정된 결과의 평균합 차

수를 나타낸다. 여기서 전기자 축을 나타내는 1차 성분과 브러쉬를 나타내는 12차 성분이 큰 기여도를 나타내는데 전자는 모터의 속도가 증가함에 따라 축의 언밸런스 성분이 증가되어 1차성분이 크게 나타난 것으로 여겨지고 후자는 브러쉬와 커뮤테이터의 12 슬롯에 의해 12차 성분이 나타난 것이다.

또한 Fig. 4(b)는 기어카버에 대한 진동 차수분석으로 전기자 축의 1차와 12차 보다는 2차 성분인 워엄과 카운터기어의 접촉에 의한 진동성분이 가장

Yoke Acc. vs. averaged summed order, Gear R = 53.9

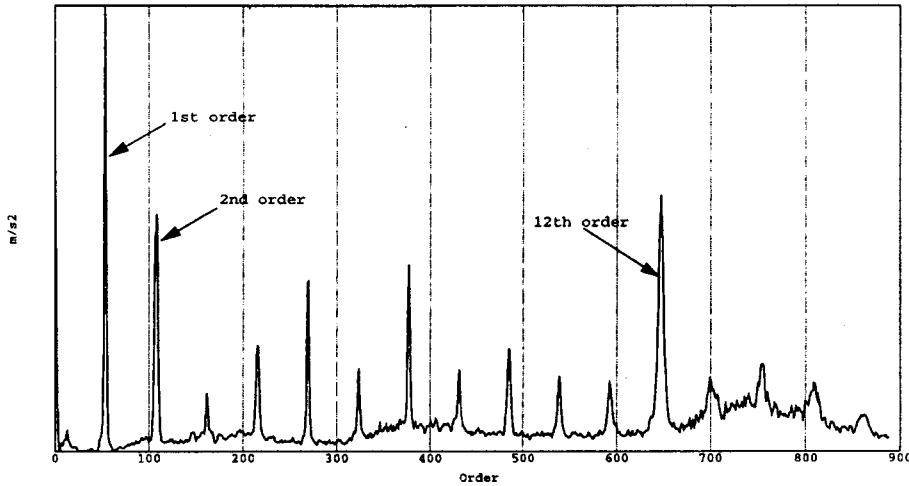


Fig. 4(a) Averaged summed order of vibration at the yoke

Gear_cover Acc. vs. averaged summed order, Gear R = 53.9

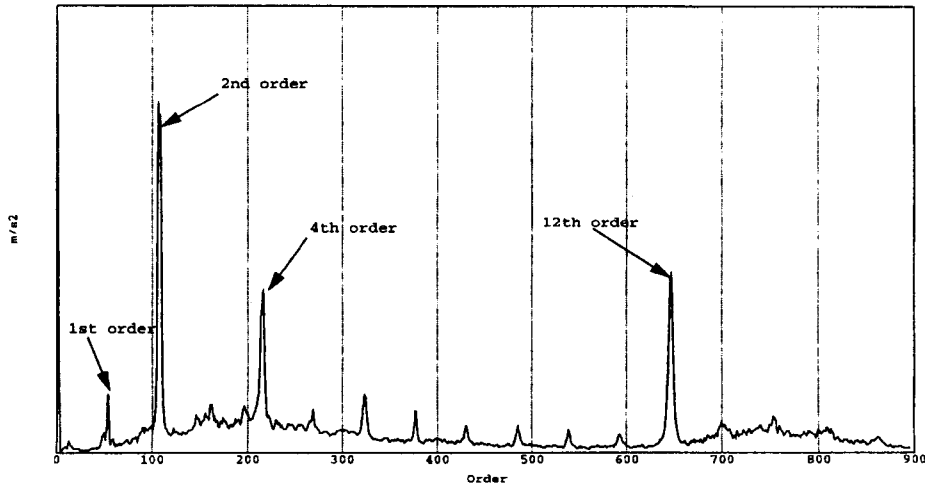


Fig. 4(b) Averaged summed order of vibration at the gear cover

기여도가 크게 나타났다.

4. 실 차 시 험

4.1 서론

앞에서 분석한 단품에 대한 주파수 성분의 기여도는 기본적으로 실차상태에서도 와이퍼모터의 마운팅과 링크지의 연결 여부에 따라 약간의 주파수이동과 크기의 차이는 있으나, 전술한 바와 같이 실내소음이 고체음(structure borne noise) 이므로 유사한 관계를 갖는다.

다음의 실차시험에서는 마운팅과 링크지의 연결여부에 따른 실내소음을 분석하였으며 이 결과를 토대로 어느 경로를 통해 어떤 주파수 성분이 주로 전달되는지 판단하여 그 성분의 저감을 위한 간단한 시험을 해보기로 한다.

4.2 시험 Set-Up

실차 시험을 시작 하기전 먼저 차량의 엔진을 정지시키고 운전자의 오른쪽 귀의 위치에 1/2 인치 사이즈의 자유음장(free field)용 콘덴서 마이크로폰을 설치한후 실내소음을 측정하였다.

와이퍼 모터 실차 실내소음 계측을 위해 사용된 장비는 다음과 같으며 그 셋업(set-up)을 Fig. 5에 나타내었다.

4.3 실차 소음전달 경로 확인을 위한 시험

와이퍼모터에 의해 발생된 실내소음이 공기를 통해 전달되는 기류음(air-borne noise)이 아니고 모터와

사용장비

- 1) Microphone (1/2 in, free field 용)
- 2) MIC. power supply (B&K 5935, 2 CH 用)
- 3) LMS CADA-X & VXI front end system
- 4) 운전석 mic 설치용 jig.

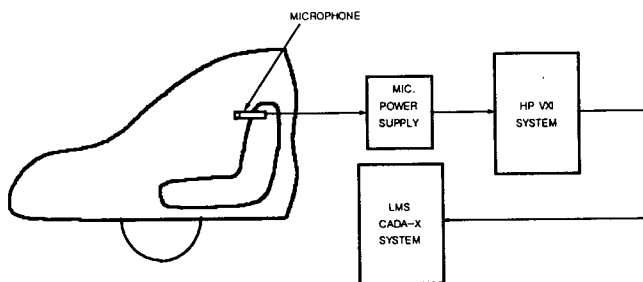


Fig. 5 Measurement test set-up for in-vehicle interior noise

기어의 진동이 전달되어 발생한 고체음(structure-borne noise)이라는 것은 전술한 바인데 실제로 이를 확인하는 단순한 방법은 다음과 같다.

와이퍼모터를 가동시킨 상태에서 먼저 측정차량의 창문을 열고 실내소음을 측정하고, 다시 창문을 닫은 채로 측정하여 그 차이가 현저하다면 이는 모터의 소음이 공기를 통해 전달된 기류음(air-borne noise) 일것이나 그 차이가 작다면 그것은 와이퍼모터의 진동이 차체를 통해 실내로 전달되어 소음으로 나타난 결과라고 간주된다 그러나 보다 정확한 판단은 소음의 계측을 통해 확인될수있다.

다음에서는 실차시험으로서 실차 상태에서의 실내소음에 영향을 미치는 소음전달 경로를 확인 하기위한 시험과 소음저감을 위한 모터 마운팅의 변경 시험, 그리고 NTF(noise transfer function)을 통한 공진 유무 확인시험 등을 실시하였다.

5. 분석 결과

5.1 실내 소음에 기여하는 경로 확인 시험

이 시험에서는 와이퍼모터 실내 소음에 기여하는 경로를 확인하기 위해 모터 마운팅(mounting)과 링크지(linkage)의 연결 유무에 따른 4가지 조건(Table 1 참조)에 대해 실내소음을 측정했으며, 그 결과를 Fig. 6과 같이 주파수 분석을 통해 나타내었다. 여기서 링크지(linkage)와 모터 마운팅이 연결된 정상마운팅(standard mounting)에서의 소음레벨을 보면 약 125 Hz, 250 Hz 와 750 Hz 부근에서 현저한 피크(peak)가 존재한다.

이는 와이퍼모터의 기어 진동(125 Hz)과 1차 조파(250 Hz) 그리고 모터 브러쉬 진동(750 Hz)이 각각 그 소음원인 것으로, 단품 상태에서의 주파수와 비교해 볼때, 실차 부착에 따른 주파수 이동이 있었다고 사료된다.

Fig. 6에서 보면 125 Hz 부근에서 나타난 피크와

Table 1 Test conditions depending on path connection

시험	Motor mounting	Linkage joint
#1	연결	연결
#2	연결	분리
#3	분리	연결
#4	분리	분리

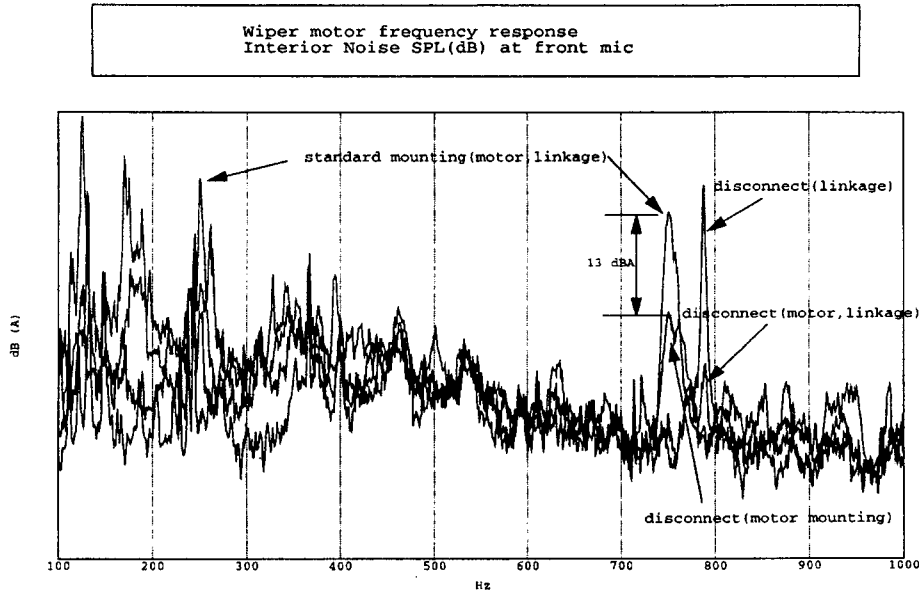


Fig. 6 Comparison of interior noises by connection of motor mountings and linkages

750 Hz 부근에서의 피크는 링크지가 연결된 상태에서 와이퍼 모터의 마운팅의 연결 유무에 따라 각각 약 30 dBA 정도의 기어소음 차이와 약 13 dBA 정도의 브러쉬소음 레벨 차이를 보여준다. 이는 모터 마운팅을 통해 기어와 브러쉬 진동이 전달된다는 의미이다.

또한 780 Hz에서 나타난 피크는 모터 마운팅은 연결되었지만 링크지를 분리시켰을 경우인데 정상마운팅(standard mounting)과 비교해 보면 링크지의 분리에 의한 로딩(loading)의 감소로 회전수가 증가되어 주파수가 높아졌으나 브러쉬에 의한 고주파 소음에는 큰 변화가 없었다.

따라서 링크지로는 모터의 브러쉬 진동이 별로 전달되지 않는다는 것을 알 수 있다. 하지만 125 Hz에서의 기어소음을 비교해보면 10 dB 정도의 링크지

분리에 따른 감소가 발생했다.

이 시험을 통해 모터 소음은 주로 모터 마운팅을 통해, 기어 소음은 모터 마운팅과 링크지를 통해 전달됨을 확인할 수 있었다. Table 2는 본 시험에 대한 결과를 도표화한 결과이다.

5.2 모터 마운팅 러버(Rubber) 변경 시험

모터 마운팅이 실차 실내소음의 주 경로임이 확인되었으므로 마운팅으로 전달되는 진동을 저감키 위한 시도중 하나로 다음과 같은 간단한 시험을 실시하였다.

즉 와이퍼모터의 마운팅 러버의 두께를 43% 감소

Table 2 Test results

Test conditions	Motor noise	Gear noise
A(Off), B(Off)	No	No
A(On), B(Off)	Yes(Small)	Yes(Small)
A(Off), B(On)	Yes(Big)	Yes(Big)
A(On), B(On)	Yes	Yes

NOTE : A(Motor Mounting), B(Linkage)

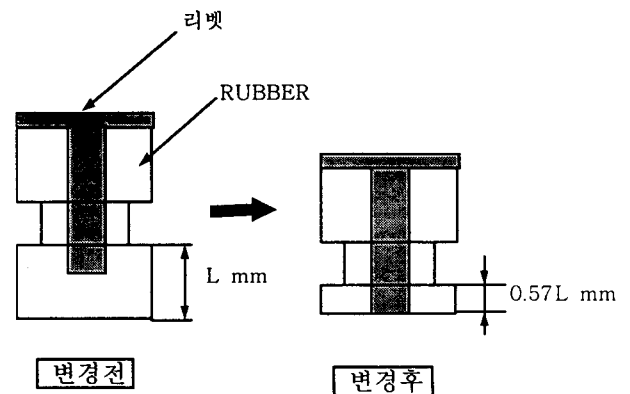


Fig. 7 Thickness change of wiper motor mounting rubber

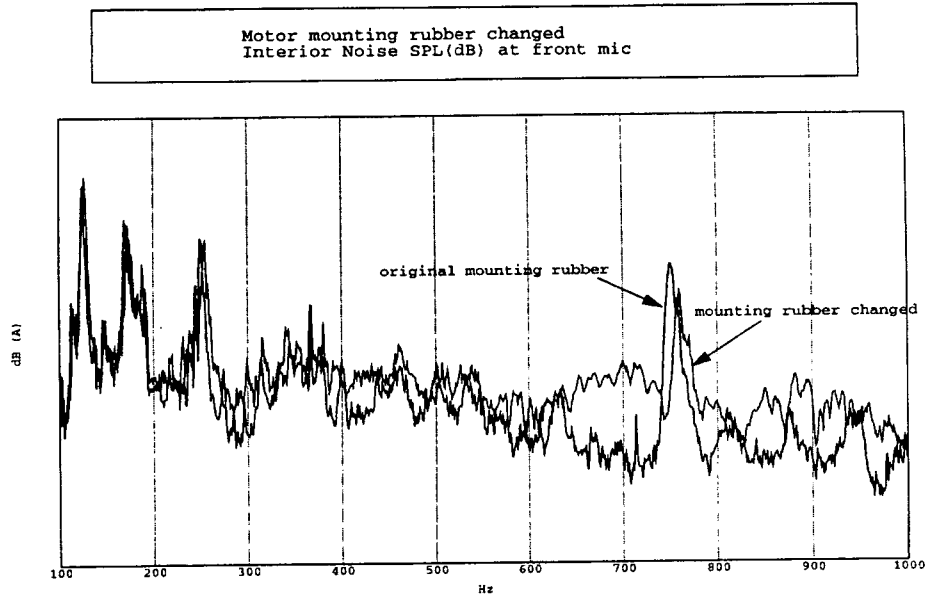


Fig. 8 Comparison of automotive interior noises by the thickness change of motor mounting rubbers

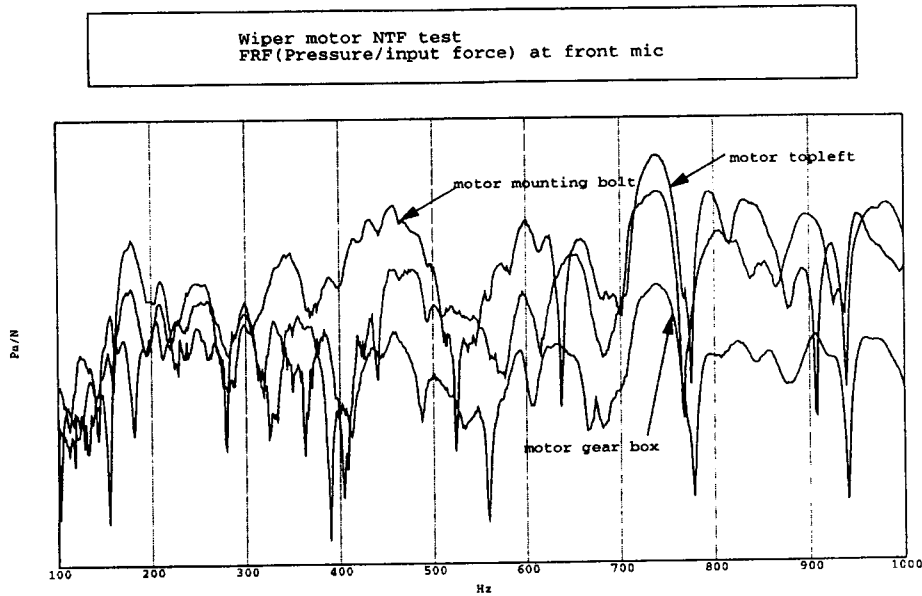


Fig. 9 NTF results for different transfer paths

시켜 러버에 걸리는 예압(pre-stress)와 강성(stiffness)가 작아지도록 해 연성(compliance)을 증가시킨 것인데 이 결과를 원래의 마운팅 러버를 사용했을 때의 결과와 비교해보았다.

Fig. 7은 변경된 마운팅 러버의 형상(Geometry) 변화를 나타내며 Fig. 8에 그 결과를 나타내었다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 러버의 변화에 의해서

약 750 Hz 부근에서의 모터 브러시 소음이 약 4 dBA 정도 저감되었음을 확인 할 수 있었다. 하지만 125 Hz와 250 Hz에서의 기어부 소음에는 큰 변화가 없었다.

5.3 소음전달 함수(NTF) 분석 시험

여기서 실시된 NTF(noise transfer function) 분

석시험은 모터 진동의 전달 경로에 따라 모터마운팅 볼트(motor mounting bolt), 모터상단왼쪽(motor top left), 기어박스(gear box) 등에 대해 임팩트해머(impact hammer)로 가진하여 얻은 실차 소음값을 FRF(frequency response function)로 구한 것이다.

와이퍼 모터의 각 진동 전달 경로에 대한 NTF시험을 실시해 본 결과, 약 750 Hz에서 공진 현상이 발생되었다. (Fig. 9 참조).

따라서 약 700 Hz에서 반응값(response)의 골(depth)을 이용하여, 설계변경을 통해 와이퍼모터의 작동회전수에 의한 주파수를 이 영역으로 낮출수 있다면, 750 Hz에서의 공진의 저감이 가능할 것으로 사료된다. 하지만 실제상의 설계의 변경에는 보다 많은 변수가 있을 수 있으므로 신중히 고려해야한다.

6. 결 론

와이퍼모터에 의한 실내 소음을 분석 평가 하기위해 단품의 진동 시험과 실차 실내소음 시험을 해보았다. 먼저 단품시험을 통해 각 부품이 가지고 있는 주파수성분을 찾아보고 이론치와 일치하는지를 확인하였고, 실차시험을 통해 이들 주파수를 연관(matching) 시켜보았다.

또한 모터의 브러시에 의한 진동이 어떤 경로를 통해 실내 소음으로 전파되며, 이러한 고체소음에 가장 많은 기여를 하는 경로를 찾아내어 그 부분을 개선 할수 있는 가능성을 보기위한 간단한 마운팅 러버 변경시험을 해보았다.

실차 시험을 통하여 실내 소음에 대한 주파수 분석을 한 결과 125 Hz, 250 Hz 부근에서와 750 Hz 부근에서 우세한 소음 피크(peak)가 발생 되었는데 이는 단품 시험에서도 유사한 주파수에서 나타난 것

으로 250 Hz에서의 소음은 기어의 진동이, 750 Hz에서의 소음은 모터 브러시 진동이 그 원인이었다.

여기서 소음 저감의 대상인 브러시에 의한 실내 소음의 전달되는 경로를 확인하는 시험을 실시한 결과 모터의 마운팅과 링크지 조인트(linkage joint)로 나타났으며 모터의 마운팅을 통한 진동 전달을 저감시키기 위해서 마운팅 러버(mounting rubber)의 두께를 줄여 마운팅 체결시 러버에 걸리는 예압을 줄여주는 간이 시험을 했는데, 시험결과 러버의 두께를 변경했을때 브러시로 인한 주파수 대의 소음 Peak가 약 4 dBA 정도 저감될수 있는 가능성이 나타났다.

또한 NTF test를 실시하여 약 750 Hz에서 공진 현상이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 구조적인 공진 현상은 설계의 변경을 통해 개선 될수 있다.

단품 및 실차 시험을 통한 와이퍼 모터 시스템에 대한 진동 및 소음의 특성 해석 기법은 다른 자동차 부품의 NVH 연구에도 잘 적용될 수 있을 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- (1) Yukiho Murata, et al., 1997, Windshield Wiper Motor Noise Reduction, (in Japanese), 자동차기술, Vol. 51, No. 2.
- (2) P. T. Thawani and R.C. Sohaney, 1995, Blower Motor Whining Noise - A Case Study, SAE 951349.
- (3) Hongling Kang, 1995, The Study of DC Motor Noise and Vibration, SAE 951350.
- (4) 도서출판 세화, 1992, 회전기계의 진동,소음 그 원인과 대책, 해석, 진단.