고주파수 소음 저감 휠가드 연구

김 현 경^{*1)} · 백 홍 선¹⁾ · 이 문 석¹⁾ · 김 동 효²⁾ · 김 도 형²⁾

현대자동차 의장선행개발팀¹⁾ · 신기인터모빌 제품개발팀²⁾

A Study of Wheel Guards for Reduction of High Frequency Road Noise

Hyungyung Kim^{*1)} · Hongsun Baik¹⁾ · Moonsuk Lee¹⁾ · Donghyo Kim²⁾ · Dohyung Kim²⁾

¹⁾Advanced Trim & NVH Team, HMC R&D, 150 Hyundai R&D-ro, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

²⁾Product Development Team, Shinki Intermobile Company, 69-60 Junam-ro, Yangsan-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 14 October 2013 / Revised 22 February 2014 / Accepted 5 March 2014)

Abstract : This paper describes about the development of new concept's rear wheel guards for the reduction of Road Noise in the passenger vehicle using test. The new wheel guards are proposed by various frequency chamber concept and different textile layers concept. Two wheel guards were verified by small cabin resonance test and vehicle test. Through new developing process without vehicle test, Result of road noise will be expected when new concepts and materials of wheel guard is applied into automotive vehicle. As a result of the application of Aimed Helmholtz and Multi-layers concept, this paper classifies the road noise, cost and weight are reduced by new concepts and the solutions are adopted into the 2 cars.

Key words : Road noise(로드노이즈), Sound reduction(소음저감), High frequency(고주파수), Wheel guard(휠가드), Aimed helmholtz(목표공명음), Multi-layers(다층)

1. 서 론

승용 차량의 로드노이즈는 일반적으로 주파수 영역에 따라 세가지 항목으로 분류될 수 있는데 200Hz 이하 영역의 로드 부밍, 200~250Hz 영역 공명음, 250~450Hz 영역 럼블음, 500~4000Hz 영역의 발생하는 고주파수음 영역으로 나눌 수 있다.¹⁾ 일반적으로 로드노이즈는 노면에서 유입되는 불규칙한 가진에 의해 발생되는데, 고주파수음은 가진원이 확실한 공명음과는 달리 명확한 특징을 가지고 있지 않다. 주행 중 노면 가진력은 타이어 트레드부를 가진하고 사이드월과 세스펜션을 통해 차량으로 유입

된다. 하지만 고주파수음은 타이어 트레드부의 회전력과 차체 주변의 유동 와류와 주행풍에 의한 간섭에 의한 복합적인 거동이 발생한다. 그래서 명확한 이해와 현상분석과 주요 전달 경로에 대한 기여도 파악이 어려워 그동안 교화적인 개선방향을 적용하는 것이 어려웠다. 또한 차량 엔진의 종류와 위치에 따라 그 경향이 상이하여 기본적인 재질 개선안을 제외한 다른 방향의 연구는 실시되지 않고 있다. 유입차는 실내소음의 유입보다는 음질 측면에서 우수한 것으로 나타나고 있으며, 일본 차량들이 실내소음이 적은 것으로 나타나고 있다. 특히 석유 자원의 고갈과 환경문제로 인해 연비향상 등을 위한 경량화가 요구되고 있다. 이에 차량 정숙성 및 경량화를 동시에 만족시키기 위해서는 자동차 설계의 혁신적인 기술개발이 필요하다. 과거 20여 년간 기

*A part of this paper was presented at the KSAE 2013 Annual Conference and Exhibition

*Corresponding author, E-mail: caar@hyundai.com

술개발은 기존방식을 유지하면서 재료 최적화로 이루어져왔다.^{2,3)} 휠가드는 자동차의 휠 부에서 차체에 장착되어 노면에서 발생한 비석에 의한 차체손상을 막아주며, 노면과 타이어에서 발생한 고주파수음을 차단 또는 흡수하여 실내 운전자에게 차량 정숙성을 유지시켜 주는 자동차의 외장부품이다.⁴⁾ 휠가드는 프런트 및 리어 휠가드가 있으며, 부품의 소재는 플라스틱과 부직포 등을 사용하며 상기의 기능을 수행하게 된다. 자동차 회사마다 보다 강화된 시험 항목을 추가하여 설계목표로 삼고 있다. 휠가드는 크게 플라스틱 휠가드와 부직포 휠가드로 나뉘며, 플라스틱 휠가드의 소재는 저렴한 방면 흡음 성능이 떨어지며, 부직포 휠가드는 경량화가 가능하나 소재가 비싸 고급 차량에만 적용되는 특징을 가지고 있다.^{5,6)}

본 연구에서는 차량 후방 리어 휠가드의 흡음 성능을 개선하고 경량화 및 소재가 절감을 위한 새로운 컨셉의 휠가드 설계 및 평가에 대한 연구를 수행하였다. 시편 및 단품 평가⁶⁾을 통해 흡음 성능 및 흡음 구조에 대한 조건을 도출하였다. 기여도 분석을 통한 주파수 배열을 통한 헬름홀츠 공명기 원리를 이용한 공명기 휠가드를 제안하였다. 또한 부직포 흡음 및 차음 별도 층간 분리 원리를 이용한 3층 부직포 휠가드도 제안하였다. 부품을 제작하고 단품 흡음 및 실차흡음 성능확인 평가를 실시하여, 성능 개선 효과를 확인하였다. 본 연구를 통해 실차평가를 수바하지 않으면서도 로드노이즈를 개선할 수 있는 평가모델과 평가를 통한 경량화와 재료비 절감 및 흡음 컨셉을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 로드 노이즈 고주파수 개요

로드노이즈의 소리(Sound)는 공기입자의 보이지 않는 진동인데, 인간은 공기입자를 매개체로 진동을 진동수(주파수)와 압력으로 감지한다. 고막이 느낄 수 있는 압력은 0.00002 ~ 60Pa이며, 가청영역은 20 ~ 20KHz인데 실제로는 100Hz 이하 및 10KHz 이상에서는 둔감하며 4KHz에서는 고막의 고유진동수와 같기 때문에 인간은 민감하게 반응하게 된다.

Fig. 1 Frequency area of road noise

Table 1 Frequency area of road noise

Octave	31.5	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
Frequency (Hz)	20	40	80	160	320	640	1.2K	2.5K	5K	10K
	~40	~80	~160	~320	~640	~1.2K	~2.5K	~5.1K	~10K	~20K

Fig. 1은 차량 주행 시 노면에서 발생하는 로드노이즈 측정 항목을 나타 내었다. Table 1은 500 ~ 4KHz 영역의 고주파수음을 영역별 평균화하는 광대역 분석법을 활용하나 보다 정확한 분석을 위해 1/3 Octave 분석을 실시한다.

2.2 휠가드 컨셉 제안

본 연구의 목표는 'i30' 차량의 리어 휠가드를 대상으로 대표적인 로드노이즈 성능인 고주파수음에 대하여 신규 컨셉 개발품의 목표를 현재 흡음성 대비 향상을 목표로 설정하였다. 또한 단품 흡음과 실차 흡음에 관한 유사성을 검증하기 위한 비교성능 평가를 실시 및 검증한다. Fig. 2,3은 본 연구가 제안하는 2개 컨셉을 변경 전/후로 표시하였다.

Fig. 2 New 1st concept of wheel guard

Fig. 3 New 2nd concept of wheel guard

Fig. 4 Many different chambers into wheel guard

헬름홀츠 공명원리를 활용한 컨셉은 공명기 휠가드로 Fig. 4에 표시한 바와 같이 공명목의 체적에 비하여 상대적으로 큰 부피를 갖는 공동과 좁은 목으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 타이어 휠과 엔진 커버에 사용되는 하나의 주파수가 아닌 3차원 주파수 배열을 가지는 다수의 공명실을 적용하고자 한다.⁷⁾

2.3 단품 흡음 성능 검증

휠가드의 로드노이즈 성능은 차음과 흡음이다. 흡음이란 소리의 음향에너지를 열에너지 또는 흡음재의 운동에너지로 전환하여 감쇄시키는 현상이다. 흡음률이란 물체에 입사에너지에 대한 흡수에너지의 비율이다. 이 흡음률의 평가법은 과내법, 잔향실법, 간이 잔향실법이 있으며, 본 연구에서는 Sabine의 공식으로 흡음율을 계산하였으며 Fig. 5에 평가 장비와 흡음률 공식을 나타내었다. 단품 평가 시편 시료와 실차평가가 부품 형상의 형상 차이점에 따른 차이점을 극복하고자 도출방법으로 단품 평가 시료로 실차 부품을 사용했다. Fig. 6은 평가 시료의 변경 전/후를 표시하였다.

고주파수음은 500 ~ 4,000Hz 영역이지만, 휠가드

Fig. 5 Scale reverberation chamber

Fig. 6 Test sample & test part

에서는 총 에너지의 90%에 해당하는 영역인 500 ~ 2,500Hz로 축소 및 2,500Hz 이상의 영역으로 축소가 가능함을 Fig. 7에 표시하였다. 1/3 Octave 분석방법으로 재질 별 평가를 하였으며 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 플라스틱 소재 보다는 부직포 소재의 흡음률이 높은 것을 알 수 있다. 주파수 별 상대비교는 가능하지만 소재 별 전체적인 흡음 성능을 비교하기에는 문제가 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 제시하는 평균흡음지수를 식 (1)에 도입하여 은 재질별 값을 Table 2에 표시하였다. 본 연구에서 제시하는 1번째 컨셉인 Thinsulate를 대체하는 공명기 구조와 PET 1,000g을 대체하는 LWRT

Octave	500 (w1)			1000 (w2)			2000 (w3)		
1/3 Hz	400 (w11)	500 (w12)	630 (w13)	800 (w21)	1000 (w22)	1250 (w23)	1600 (w31)	2000 (w32)	2500 (w33)

Fig. 7 Detection frequencies & 1/3 octave

Fig. 8 Result of different concepts of wheel guard

Table 2 Average sound absorbing ratio with test parts

	TPO Plastic	Plastic + Foam	Plastic + Thinsulate	Helmholtz Multilayer	LWRT 3 Layer	PET 2 Layer (1,000g)
α_{avg}	0.12	0.13	0.18	0.18	0.56	0.56

3층 구조인 2번째 컨셉 모두가 기존과 동일한 평균 흡음지수 값을 나타내었다. 이에 실차평가를 통하여 유사한 결과를 도출된다면 본 평가법에 의한 개발 평가 비용 축소 및 소재 기여도 분석에 의한 명확한 검증 기여가 예상된다.

평균흡음지수공식은 식 (1)과 같다.

$$\alpha_{avg} = \frac{\sum_i \alpha_i * Hz_i}{(Hz_j - Hz_i)} \quad (1)$$

2.4 컨셉 1, 2의 차량 흡음 평가

리어휠부에 휠가드 사양 별 전/후석 고주파 대역 소음평가를 60KPH 로드노이즈 노면, 80KPH, 100KPH 고속 주행으로 노면에서 실시하였다. 단품지수 결과와 노면에서는 전석 유사하게 플라스틱 소재보다는 부직포 소재가 흡음능력이 우수함을 나타내었다. Fig. 9의 로드노이즈 노면에서는 1 kHz 영역에서는 PET 1,200g 사양이 우수하며, 후석 500 ~ 800Hz 영역에서 부직포 2 사양이 우수하며, 후석 1 kHz 이상 영역에서는 PET 1,200g 사양이 가장 우수함을 나타내었다. Fig. 10의 80 KPH 고속주행에서는 부직포 2 사양이 전석/후석에서 동일한 성능을 나타내었고 후석 500 ~ 1500Hz 영역에서는 공명기 사양이 Thinsulate

Fig. 9 Test result of 60kph road noise

Fig. 10 Test result of 80kph road noise

Fig. 11 Test result of 100kph road noise

Table 3 Test result of auto vehicle with concept

500 ~ 4kHz	60 kph		80 kph		100 kph	
	Fr.Seat	Rr.Seat	Fr.Seat	Rr.Seat	Fr.Seat	Rr.Seat
Plastic + Thinsulate	55.6	55.0	56.3	56.8	59.6	60.0
Helmholtz Multilayers (500~2500Hz)	55.1	55.2	56.0	56.1	59.6	59.9
LWRT 3 Layers (700g)	54.8	54.0	55.9	56.0	59.2	59.6
PET 2 Layers (1,200g)	54.7	54.4	55.3	55.5	59.0	59.2

사양보다 우수하였다. Fig. 11의 100 KPH 고속주행에서는 전석에서는 부직포 2 사양이 동일한 성능을 나타내었고 후석에서는 PET 1,200g 사양이 가장 우수한 결과를 나타내었다.

컨셉 1은 기존 사양을 대체할 수 있는 성능을 나타내었고, 컨셉 2는 기존 사양 대비 성능 부족함을

Table 3에 표시하였다. 이에 컨셉 1을 기준으로 추가 소음 저감 방법을 찾고자 한다.

2.5 컨셉 1 개선안 차량 흡음 평가

초기 컨셉 공명기 구조가 500~2.5kHz 주파수 영역에 분포되었는데 500~1.5kHz 영역에서 PET 1,200g 과 유사한 성능을 나타내었기에, 컨셉 1의 개선안 주파수를 700~1.5kHz로 변경하여 설계를 변경하여 부품을 제작하였다. 차량 리어휠부에 플라스틱 휠가드 사양 별 전/후석 고주파 소음평가를 60KPH 로드노이즈 노면, 80/100/130KPH 고속 노면에서 평가하였다. 평가 결과를 Fig. 12, 13, 14에 표시하였다. 컨셉1의 개선안은 기존대비 1dB 소음저감 효과가 있으며, 주파수 영역이 축소된 사양은 모든 영역에서 기존대비 0.5dB 추가 소음 저감 효과를 나타내었다.

Fig. 12 2nd Test result of 60kph road noise

Fig. 13 2nd Test result of 80kph road noise

Fig. 14 2nd Test result of 100/130 kph road noise

Table 4 2nd Test result of 700 ~ 1500Hz multi-layers

500 ~ 4kHz	60 kph		80 kph		100kph		130 kph	
	Fr.Seat	Rr.Seat	Fr.Seat	Rr.Seat	Fr.Seat	Rr.Seat	Fr.Seat	Rr.Seat
Plastic	57.7	58.6	58.6	59.6	61.6	63.0	65.3	66.5
Plastic + Thinsulate	57.6	57.3	57.6	58.3	60.9	61.5	64.7	64.8
Helmholtz Multilayer (700~1500Hz)	57.1	56.9	57.7	58.1	60.6	61.5	64.4	64.6

이를 통하여 주파수 배열을 통한 컨셉이 유효한 결과를 나타낼 수 있다는 것을 확인하였다. 결과는 Table 4에 표시하였다.

2.6 타이어 방사음 특성 평가

차량 리어휠부 휠가드 부에 샤시 Dynamometer 를 통한 후륜 60KPH 정속 구동조건에서 타이어 방사음 및 Acoustic Camera를 통한 타이어 소음소스를 측정 평가하였다.

이는 타이어 주변 소스 및 주파수 특성 분석하는 평가이다. Fig. 15에 표시한 타이어 방사음 소스 영

Fig. 15 Characteristic of tire noise radiation source

역은 700 ~ 1500Hz 에 위치함을 알 수 있다. 3개의 중요한 특정 주파수를 나타내고 있다. 또한 컨셉 1 개선안 주파수와 일치함을 확인하였다.

마이크 1,5 번 위치는 1040Hz 음압이 높으며, 마이크 3,4 번 위치인 타이어 상단부는 1270Hz 음압이 높고, 모든 마이크 위치에서 1470Hz 음압이 고르게 분포함을 알 수 있으며 방사소음은 700Hz와 1000 ~ 1500Hz 에 분포하며 타이어 전방부와 상단부에 주로 방사됨을 알 수 있고 Fig. 16, 17에 나타내었다.

휠가드는 차체부와 일정한 부품 간격을 가지고 있는데 플라스틱 휠가드는 흡음하는 위치가 Thinsulate는 휠가드 내측이고, 공명기는 휠가드 외측에 위치한다. 다른 위치에서 소음저감을 나타내는 이유를 찾아보고자 리어타이어 상단부인 휠가드 외측/내측에 Mic 3 위치에서 소음 측정을 실시하였다. 상단부에서는 Thinsulate내측 휠가드는 1kHz이상 대

Fig. 18 Outer & inner characteristic in MIC 3

역에서는 소음을 저감하고 있으며, 공명기 휠가드는 외측에서 소음을 저감함을 Fig. 18에 표시하였다. 이를 통하여 휠가드 외측 또는 내측에 흡음소재 또는 구조물을 동시에 설치하는 것이 더욱 효과적임을 알 수 있다. 따라서 컨셉 2의 경우에도 3층 이상의 Layer구조물을 통하여 타이어 바사음의 특성을 잘 활용한다면 보다 좋은 흡음 성능 개발 가능성에 대하여 검증하였다.

3. 결론

본 연구는 소비자의 자동차 구매선택에 중요한 인자인 차량정숙에 대한 휠가드의 NVH 소음저감과 재료비절감을 위한 주파수개념 휠가드를 제안하였다. 실차평가 없이 검증 가능한 단품평가기법을 검증하였고 실차평가를 실시하여 단품평가결과와 비교하여 유사한 성능을 확인하였다. 또한 차량 주행시 타이어 방사소음 특성에 근거한 주파수 설계기법을 검증하였다. 이에 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 타이어 방사음 주파수 및 멀티 레이어 개념을 적용한 신규 컨셉 휠가드는 소음저감 효과를 나타낸다. 컨셉1의 헬름홀츠 공명원리 멀티레이어 컨셉은 후석소음 0.5dB 절감하여, 컨셉2의 부직

Fig. 16 Characteristic result of microphone point

Fig. 17 Characteristic frequency of microphone point

포 멀티레이어 컨셉은 1.0dB 절감한다.

- 2) 잔향실험을 활용한 휠가드 부품평가법을 도입한 단품흡음지수를 정의하여 소재별 흡음을 평가결과는 실차평가 결과와 유사성을 나타낸다.
- 3) 컨셉1의 주파수대역 변경 실차평가 결과 0.5dB 소음저감 효과는 설계최적화 결과이다.
- 4) 후방 타이어와 노면의 직접 소스와 휠가드 위치별 소음측정 결과는 휠가드 영역에 주파수 배열을 위한 주파수 설계에 직접적인 도움을 주어 소음감소에 기여함을 확인하였다.

References

- 1) J. Kim, Y. Park, Y. Lee and S. Hong, "Development of Full Vehicle Model for Road Noise Analysis," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2377-2381, 2010.
- 2) Y. Oh and K. Kim "Design and Verification of an Effective Absorption Detail for Low Frequency Bands," ASK Annual Conference Proceedings, pp.157-160, 2000.
- 3) Rieter Automotive Management, Instructions for the Use of the Alpha Cabin, Rieter, 2002.
- 4) A. London, "The Determination of Reverberant Sound Absorption Coefficient from Acoustic Impedance Measurements," J. Acust. Soc. Am.22, pp.263-269, 1950.
- 5) D. Heo, D. Lee and Y. Kwon, "Estimation of the Sound Absorption Performance for Multiple Layer Perforated Plate Systems by Transfer Matrix Method," J. KSNVE, Vol.12, No.9, pp.709-716, 2002.
- 6) Development of Sound Absorption and Insulation Materials for Automobiles and Ships, Ministry of Science & Technology, M1-0139-17-0002.
- 7) Y. You and J. Lee, "A Study on the Acoustic Absorption Panel by the Theory of Resnator," J.MMU, Annual Conference Proceedings, pp.125-129, 2006.
- 8) S. Seo and Y. Kim, "Acoustic Characteristics of a Silencer by Using Array Resonator," J.KSNVE, pp.975-982, 2004.