

심리 음향을 기반으로 한 고급 Dual Shell Horn 개발 Study on the Development of High Quality Horn Sound based on Psychoacoustics

정기웅* · 박동철† · 이상권** · 강희수** · 오윤석***

Jeong Ki Woong, Park Dong Chul, Lee Sang Kwon, Kang Hee Su and Oh Youn Suk

Key Words : Psychoacoustic, Dual Shell Horn, Sound Quality, Sound Quality Index.

ABSTRACT

The purpose of vehicle horn sound is for warning to pedestrians. In the past, the main development factor is to match the regulation level. But nowadays perceived quality is more important than level itself. In this study, we measure variety horn sound and evaluate its signals through the jury evaluation aimed at making horn sound quality index. Each contribution of the noise path for sound quality is identified and the target values and methods for implementing the luxurious horn sound are suggested. Finally, we developed, horn component and improve horn mounting condition for luxurious horn sound

1. 서 론

혼 소리는 특정 상황에서 운전자가 외부에 경고성 인지를 전달하는 목적으로 발생하는 소리이다. 이러한 차량 경고음에 대해 과거에는 기능 위주의 관점과 법규만족에서 주로 개발되었지만 차량의 감성적 측면에 대한 개발자들의 인식 전환과 소비자의 감성 만족도에 대한 요구가 증가함에 따라 감성 만족도 향상으로 개발 방향이 변화되고 있다.¹⁾ 혼은 차량에서 발생할 수 있는 가장 큰 소리이지만, 음질에 대해서는 현재까지 진행된 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 중대형 이상 차량에서 차급에 맞는 고급스러운 혼 음질의 개발을 목적으로 진행하였다. 고급 혼 음질을 만들기 위해서는, 소비자가 감성적으로 좋아하는 소리에 대한 선행 연구를 통해 고급 혼음질은 무엇인가에 대한 정의가 필요

하고, 이를 시스템적으로 구현하는 체계적인 연구가 필요하다. Fig.1 은 본 연구의 전체 진행 방향이다. 고급스러운 혼소리에 대한 소비자의 기호를 먼저 파악하고, 고급 혼 음질에 관련된 요소들을 정의하여 그 목표값을 설정한 후, 이를 토대로 음질에 영향을 미치는 시스템을 설계하고 실차 튜닝하는 과정이 필요했다. 본 연구는 혼 음질에 대한 청음평가, 음질 분석을 통해서 고급 혼 음질을 정의하였고, 최적화 과정을 통해서 혼 음질 목표와 개발방향을 설정하였다. 최종적으로 단품개선과 실차조건 튜닝으로 원하는 음질을 구현하였고 실차 블라인드 테스트 결과 고급감이 개선된 것을 확인하였다.²⁾

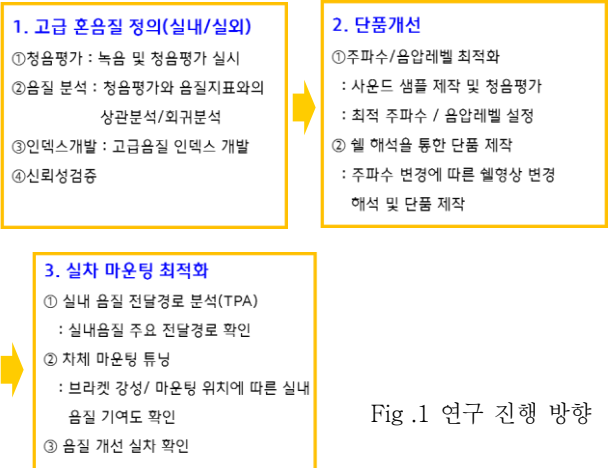


Fig. 1 연구 진행 방향

† 교신저자; 정회원, 현대자동차
E-mail : dc.park@hyundai.com
Tel : 031-368-0877, Fax : 031-368-1381
* 현대자동차
** 인하대학교
*** 인콰시스템

2. 본 론

2.1 Dual Shell Horn의 구조 및 작동원리

자동차용 Dual Shell Horn은 크게 진동부, 음향부 두 부분으로 나눌 수 있다. Fig.2는 혼을 분해해 놓은 사진이다. 노란색으로 표시되는 부분이 음향부인 shell이고, 나머지 부분이 진동부를 담당하고 있는 부품들이다. 진동부는 차량의 전기적 신호가 입력되면 자기장의 형성에 따른 아마추어의 위치변화로 인해 다이어프램이 진동하게 된다. 이 진동을 통하여 소음이 발생하게 되고 그 소음이 음향부를 통과하여 외부 소음으로 방사하게 된다. 이 때 다이어프램의 진동수(주파수)와 음향부의 공명 모드가 일치하면서 음압이 증대되는 원리이다.

셸혼은 보통 한 차에 두 개의 주파수가 다른 혼이 장착된다. 두 혼 중에서 주파수가 상대적으로 낮은 혼을 Low혼, 높은 혼을 High혼이라 부르고 두 혼의 주파수비에 따라서 혼의 음색이 달라지게 된다.

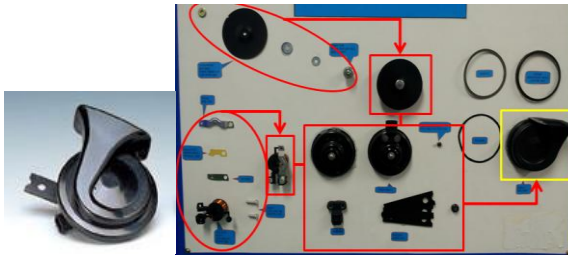


Fig. 2 셸혼 구성

2.2 고급 혼 음질 정의

본 연구에서는 실내에서 운전자가 듣는 혼소리와 차 외부에서 보행자나 타 운전자가 듣게 되는 소리의 두 가지 측면에서 고급스러운 혼 음질이 무엇인지, 그리고 어떻게 표현될 수 있는지에 대해서 정의하였다.

2.2.1 청음평가

실외 소음의 청음 평가를 위해 총9개의 혼을 단품 지그 조건에서, 실내소음은 총 10대의 고급 차량의 운전석을 기준으로 계측하였다. 청음 평가를 위해서 일반인 22명, 전문가 집단 10명 등 총 32명의 인원이 참여하였고 혼 소음을 표현할 수 있는 총 9개의 질의어 쌍에 대해서 각 단품 소음을 4~9점 rating 법으로 청음평가를 수행하였다. 그 결과는 Fig.3과 같다. 이 결과를 바탕으로 요인분석을 실시하였고 이를 통해 고급스러움을 표현할 수 있는 어휘들을 선정하였다. 끝으로 고급감에 대한 청음평가에서 실내/실외 혼소리의 선호도 결과를

얻을 수 있었다.

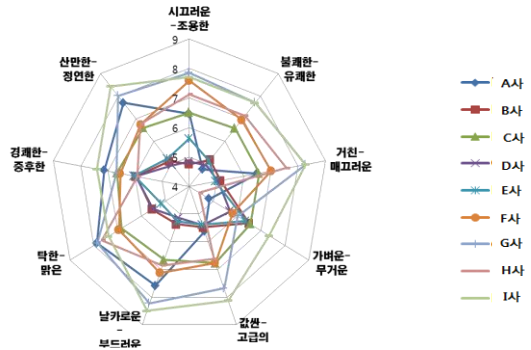


Fig. 3 실내 청음평가 결과

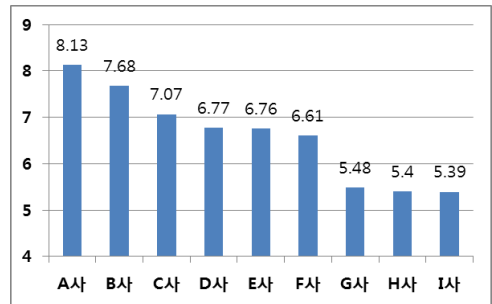


Fig.4 실외 청음 평가 결과

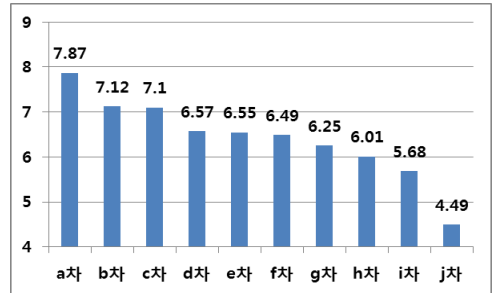


Fig.5 실내 청음 평가 결과

2.2.2 실내 혼음질 정의

팝과 클래식음악에 대해 스펙트럼을 분석하면 (Long term average spectrum) 팝음악과classic 음악은 각각 평균적으로 일정한 기울기(주파수/음압) 경향을 갖는다는 기존 연구결과가 있다.³⁾

본 연구에서도 실내 혼 음질 역시 각 차량마다 일정한 기울기 경향성이 있음을 확인했고 이 기울기와 운전자가 느끼는 고급감 사이의 어떤 관계가 있을 것이라는 가설을 세우게 되었다. 이를 확인하기

위해 Fig.6과 같은 과정으로 연구를 진행하였다.

1) MATLAB을 이용하여 주파수/음압 기울기를 여러가지로 변경하여 합성 신호를 제작한 후 고급감 선호도에 대해서 청음평가를 실시하였다.

2) 그 결과 기울기와 고급감 선호도간에 상관관계를 확인했고, 실내 고급감을 잘 설명할 수 있는 비선형 인덱스를 제작 하였다.

3) 최종적으로 도출된 인덱스에 실차 실내혼소리를 적용한 결과 인덱스가 실차 조건에서도 고급감에 대해 신뢰할 만한 설명력을 가지는 것을 확인하였다.



Fig.6 실내음질 인덱스 제작 방법

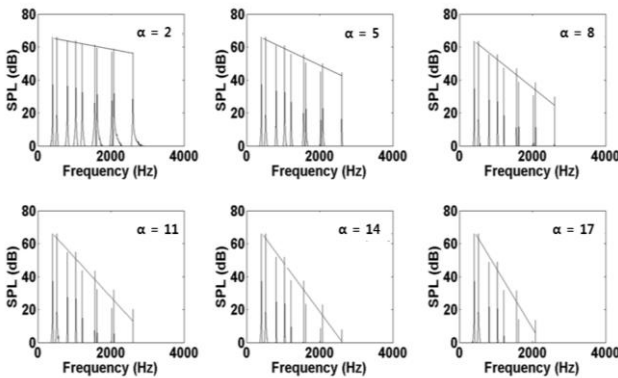


Fig.7 실내음질 인덱스 제작 방법

2.2.3 실외 혼음질 정의

고급혼 개발에서 고급감을 가장 잘 설명할 수 있는 형용사 질의어가 무엇이고, 그 질의어가 어떤 음질 요소로 표현되는지를 나타내는 인덱스를 제안하고자 하였다. 이를 위해 앞서 실외 혼음질에 대한 의미분별법(Semantic Differential Method)을 이용하여 혼소음을 표현할 수 있는 9 쌍의 질의어에 대해서 청음평가를 실시하였다.

청음평가 결과로 부터 질의어 중 고급감과 가장 상관성이 높은 질의어는 부드러움과 정연함이었다.

즉 고급감을 나타내는 혼 소리는 부드러우면서 정연한(반의어:산만한)으로 표현될 수 있었다. 다중회귀분석 결과 아래와 같이 고급감은 부드러움과 정연함으로, 부드러운은 sharpness 와 prominence,정연함은 Loudness 와 prominence 의 관계로 표현될 수 있었고, 그 결과는 다음과 같았다.

- 1) 고급감 = $C_1 + C_2$ 부드러움 + C_3 *정연함
- 2) 부드러움 = $C_4 - C_5$ Sharpness + C_6 *Modified Prominence
- 3) 정연함 = $C_7 - C_8$ *Loudness + C_9 *Modified Prominence

Prominence Ratio 는 임계대역(Critical Band)에서의 음압과 양 옆 임계대역에서의 음압 평균 값의 차이를 의미한다.

2.3 단품 개선

2.3.1 주파수 최적화

주파수에 따른 음색이 가장 고급스러운 조합을 선정하기 위해서 총 30 개의 주파수 조합에 대해서 청음 평가를 실시하였다. 주파수 조합에는 화성학의 화음을 고려한 주파수비를 포함했다.

이 신호를 이용하여 일반인 집단 18 명, 전문가 집단 6 명 등 총 24 명의 인원이 고급감에 대해청음 평가를 실시하였고 상자 그림 방법[Box-whisker] 을 이용해 이상치를 제거하였다.

그 결과 가장 고급스러운 음질의 조합으로 Low High 혼의 주파수를 최종 선정하였다.

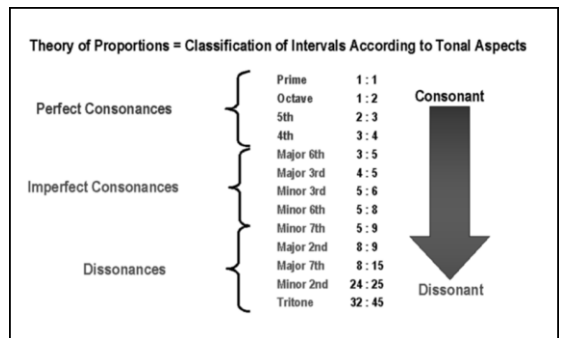


Fig.8 화성학적 주파수비

2.3.2 셀해석을 통한 단품 제작

셀의 공명주파수와 혼의 작동주파수가 일치할 때 그 공진으로 혼외부로 방사되는 음압레벨이 증대된다. 따라서 혼 작동 주파수 변경에 따른 최적 셀 형상 해석을 통해 단품 음압레벨을 높이고자 하였다.

초기 셀 형상을 FEM(Finite Element Method) 해석한 결과는 혼 작동주파수와 셀 공명주파수가 1 차 모드는 일치하지만 2,3 차 모드에서 차이가 발생했다. 본 연구에서는 해석을 통해 주파수에 기여하는 주요 설계 변수 및 경향성을 확인한 후 2,3 차 모드의 주파수를 일치시켜서 단품 음압을 증대시키고자 했다. 그 결과 셀 공명주파수 관련 주요 설계 변수는 Fig.9 와 같았고 최종으로 제안한 혼 형상은 해석상 혼작동 주파수와 1~3 차모드까지 일치하였다.

설계 변수	공진 주파수 경향 (변수 증가시)
덕트 길이	감소
덕트 높이	감소
덕트 입구 직경	감소
덕트 입구 높이	감소
출구 폭	증가
공명점 (A) 높이, 폭	감소
공명점 (B) 높이, 폭	증가

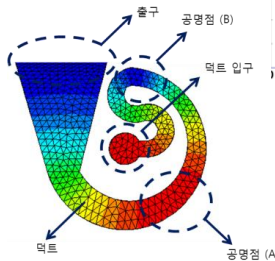


Fig.9 주요 설계변수

2.4 실차 마운팅 최적화

2.4.1 실내음 전달 경로 분석

앞서 정의한 실내 혼 음질 목표를 달성하기 위해서 먼저 실내에서 들리는 혼 소리가 실차조건에서 어떤 전달 경로를 통해서 들리는지에 대한 분석이 필요했다. 이를 위해서 실내혼음질에 대한 전달경로분석(TPA)을 실시하였다.

Fig.10 은 전달경로분석 결과이다. 분석 결과 혼 진동으로부터 마운팅브라켓, 차체를 통해 실내로 전달되는 구조전달음이 혼에서 공기를 통해

전달되는 공기전달음 보다 큰 결과를 보였다.

즉 실내음은 Fig.11 와 같이 혼진동이 구조전달을통해 실내로 전달되는 소리가 큰 부분을 차지하며, 즉 실내 혼음질을 개선하기 위해서는 실차 마운팅 조건이(차체 마운팅 위치/브라켓 강성) 중요한 튜닝 요소라고 할 수 있다.

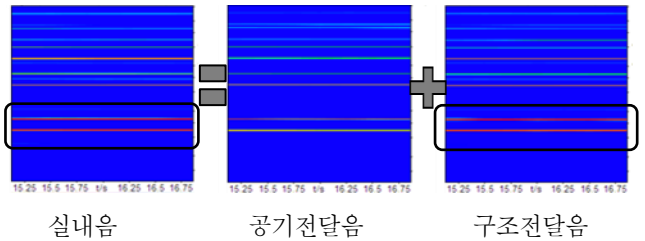


Fig.10 실내혼음 전달경로 분석(TPA)결과

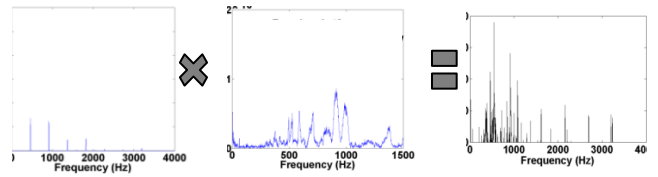


Fig.11 실내 혼음 발생 경로

Fig.12 는 실내 혼음에 대해서 주파수 분석을 한 결과인데 고급감 선호도 상위의 혼소리는 로우혼 음압이 하이혼 음압대비 크고, 고급감이 낮은 혼소리일수록 하이혼음압이 로우혼음압보다 큰 특성을 보였다.

따라서 본 연구에서는 로우혼 주파수의 실내음압이 하이혼 대비 크며, 앞서 도출한 가장 고급스러운 주파수/음압레벨 기울기의 실내음질을 개발 목표로 설정 했다. 이를 위해 당사 대형차량에서 차체마운팅 위치 검토 및 브라켓 강성 튜닝으로 고급음질을 구현하였다.

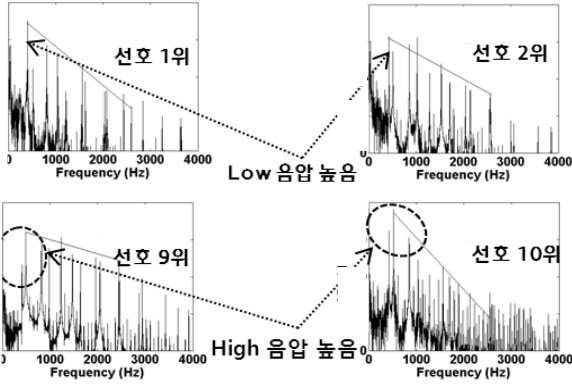


Fig.12 선호도에 따른 실내음질 주파수 특성

2.4.2 차체 마운팅 위치에 따른 음질

Low 혼/High 혼의 차체마운팅 위치에 따라서 실내혼음 음압레벨 차이가 발생한다. Fig.13 은 차량에서 마운팅 위치를 변경했을 때 실내 혼음질 특성을 나타낸다. 위치 변경으로 주로 로우혼/하이혼 1 차모드 주파수 음압레벨이 변경되는 것을 확인할 수 있었다.

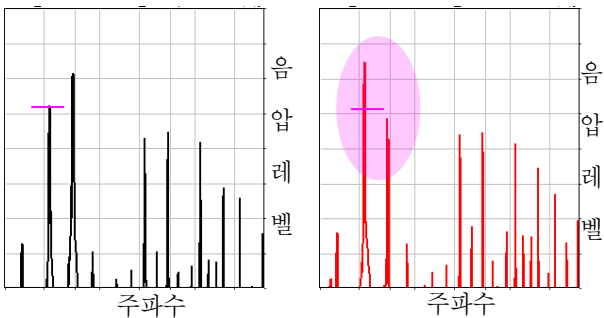
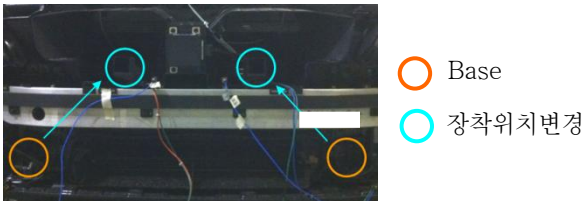


Fig.13 장착 위치 변경시 실내음 변화

2.4.3 브라켓 강성 튜닝

평가차량의 경우 로우혼 1 차모드 실내음압이 낮았기 때문에 음질 개선을 위해서는 로우혼 음압

증대가 필요했다. 개발중간단계에서 혼마운팅 위치를 임의로 바꾸는 것은 여러 제약조건이 많기 때문에 로우혼 마운팅 브라켓의 강성 튜닝으로 목표주파수 실내음압 레벨을 증대시켰다.

Fig.14 는 브라켓 강성 튜닝 결과이다. 로우혼 브라켓 모드 변경으로 목표 주파수 실내음향감도가 커져서 음압이 증대되었다.

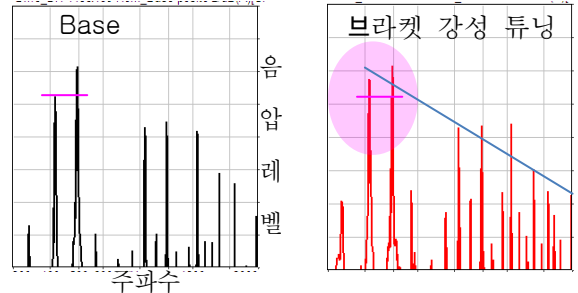
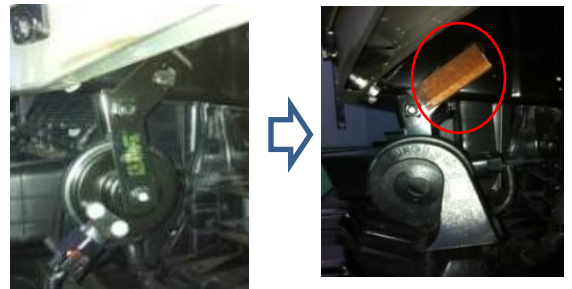


Fig.14 브라켓 강성 튜닝시 실내음 변화

2.5 실차 검증

최종 혼음질 개선안(작동주파수 변경, 마운팅 브라켓 강성튜닝)에 대해서 초기 대비 개선도를 확인하기 위해 당사 대형차량에서 다면평가를 진행하였다.

평가는 실차 블라인드 조건에서 실내/외 혼음에 대한 고급감 및 경고성에 대해 혼 개발담당자 15 명이 5 점척도로 점수를 부여했다.

Table.1 과같이 최종개선안이 초기대비 2→3.7 로 약 85% 고급감이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

구분	초기	개선
실내 고급감	2	3.7
실외 고급감	2.3	3.1
실외 경고성	2.8	3.4

Table.1 최종개선안 실차 다면평가 결과

3. 결 론

본 연구를 통해 고급 혼음질 개발 방법을 수립하고, 목표를 설정한 후, 단품 및 실차 튜닝을 통해 고급음질을 개발하고 결과를 하였다.

(1) 실내 혼소리를 주파수 분석시 각 차량마다 평균적으로 특정 주파수/음압 기울기 경향성을 갖고 있었다. 이 기울기를 통해서 운전자가 느끼는 고급감을 표현하는 인덱스를 제작했고, 검증 결과 실차 평가결과와 잘 일치하였다.

(2) 고급감을 나타내는 실외 혼 소리는 부드러우면서 정연한(반의어:산만한)의 형용사로 표현하였고, 다중회귀분석결과 고급감은 부드러움과 정연함으로, 이는 다시 sharpness 와 prominence, Loudnes 의 관계로 표현할 수 있었다.

(3) 주파수에 따른 음색이 가장 고급스러운 조합을 선정하기 위해서 화성학의 화음을 포함한 여러 주파수 조합 중에서 청음 평가를 통해 최종 주파수를 제안하였다.

(4) 본 연구에서는 고급 실내 혼음질을 구현하기 위하여, 소음 전달경로분석을 수행하고 그 기여도를 바탕으로, 마운팅 브라켓 강성을 튜닝하였으며, 개선 사양을 제안하였다.

(5) 본 연구에서 제안한 최종 음질개선안에 대해 실차 다면평가를 진행하였고, 초기 대비 음질이 크게 개선됨을 검증하였다.

1. Kim, S. H., Park, D. C., 2013, "The Preference Study of Vehicle Warning Sound Considering the Sale Region and Personal Preference based on Psychoacoustics." Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference
2. Jang, C. J., 2013 "A Study on the Strategy and Implementing Technology for the Development of Luxurious Driving Sound"
3. Taylor and Francis health sciences, "Spectral distribution of solo voice and accompaniment in pop music"
4. Norbert W. Alt and Stephan Jochum, "Sound Design Under the Aspects of Musical Harmonic Theory", SAE international, 2003
5. C. Nettelbeck, K. Genuit, "Binaural Transfer Path Analysis and Interior Noise Simulation for Vehicle Testbench Measurements", 32th Internoise, P3777-3786, 2003