

자동차 도어렛치의 음질 지수 개발 및 단품 개선을 통한 음질 향상 연구

A Study on Developing Sound Quality Index of Car Door Latch and Improving Sound Quality by Changing Door Latch Assembly Design

조현호*, 성원찬*, 김성현**, 박동철**, 강연준†

Hyeonho Jo, Wonchan Seong, Seonghyeon Kim, Dongchul Park, Yeonjune Kang

Key Words : Psychoacoustics(심리음향), Sound Quality(음질), Door Latch(도어 랫치), Impact Sound(충격음), Sound Quality Index(음질 지수)

ABSTRACT

The purpose of this study is that developing the index which evaluate sound quality of door latch and improving its sound quality through that results. For that, various operating sound of door latch was used for jury test. Loudness and sharpness related metrics are dominant in sound quality index we developed.

This research investigate the main transfer path of its operating sound through sound field visualization and get conclusion that could reduce the impact sound of door latch. Therefore, we could verify sound quality improvement of modified product by using sound quality index.

기 호 설 명

- L_n ($n:1\sim5$): 도어 랫치 작동음 중 소리의 크기와 관련이 있는 음질 인자들
- S_m ($m:1\sim9$): 도어 랫치 작동음 중 소리의 날카로움과 관련이 있는 음질 인자들
- T_l ($l:1\sim4$): 도어 랫치 작동음 중 소리의 시간요소와 관련이 있는 음질 인자들

1. 서 론

소득 수준의 향상, 기술의 발전으로 인해 사람들의 소비 성향이 점차 고급화 되어 가고 있다. 그러한 현상은 자동차의 경우에서도 예외일 수는 없는데, 그는 디자인, 다양한 편의 장비, 고급 내장재 등으로 나타나고 있다. 이와 맥을 같이 하는 기술적 요구가 바로 자동차의 음질 개선이다. 자동차가 가지

는 가치가 단순 이동 수단이었던 과거와는 달리 자동차가 가지는 고급스러운 이미지를 소비하는 것으로 변모해 가고 있는 것이다. 이러한 흐름 속에서 자동차 NVH 연구가 반드시 해결해야 하는 분야로 떠오른 것이 바로 음질 연구(Sound Quality)이다. 자동차의 음질은 자동차가 가지는 이미지와 직결되며, 특히 고급스러운 이미지를 위해서는 꼭 선행되어야 하는 연구 분야이다.

도어 랫치는 안전과 직결된 부품이라는 점에서 자동차의 신뢰도에 영향을 끼친다. 도어 랫치 소리를 통해 문이 잘 잠겨 있다는 안정감이 느껴지기도 하고, 반대의 경우엔 큰 불안감을 느끼기도 한다. 또한 주행 중 큰 소리로 작동하여 사용자로 하여금 분명히 인지할 수 작동음 특성을 가진 부품이다.

본 연구는 자동차의 신뢰도와 고급감에 큰 영향을 주는 도어 랫치의 음질을 개선하는데 그 목표를 두고 있다. 그를 위해서 먼저 도어 랫치의 음질을 평가할 수 있는 기준을 만들고, 더 나아가 도어 랫치 작동음의 음질을 개선하기 위한 방안을 찾아 도어 랫치 작동음의 고급감을 증진시키고자 하였다.

† 교신저자: 정희원, 서울대학교 기계항공공학부
E-mail: yeonjune@snu.ac.kr
Tel: (02)880-1691, Fax: (02)888-5950

* 정희원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

** 현대자동차(주)

2. 도어 래치 작동음 특성 분석

그림 2.1에 나타나 있듯이 도어 래치 작동 시 발생하는 소리는 메인 ‘충격음’과 기어가 영점으로 되돌아가면서 발생하는 ‘후음’으로 구성되어 있다. 두 소리는 모두 짧은 시간에 발생했다 사라지는 임펄스 성 소음으로 전 주파수 대역을 넓게 가진하고 있다. 그 발생 시간 간격은 0.2초에서 0.5초 정도로 모델마다 차이가 있다.

도어 래치의 작동은 ‘잠금’과 ‘열림’으로 나눌 수 있다. 각각의 작동음은 청감적으로 구분되는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 두 작동음 간의 상관관계 및 차이를 구분하기 위해 ‘잠금’과 ‘열림’을 나누어 청음 평가 및 분석을 진행하였다. 그림 2.2와 2.3은 같은 모델의 도어 래치를 잠금 작동 했을 때와 열림 작동 했을 때의 특성이다. 충격음과 후음의 발생 시간차, 충격음 발생 시 가진하는 음의 주파수 범위 등에서 차이를 보이고 있다.

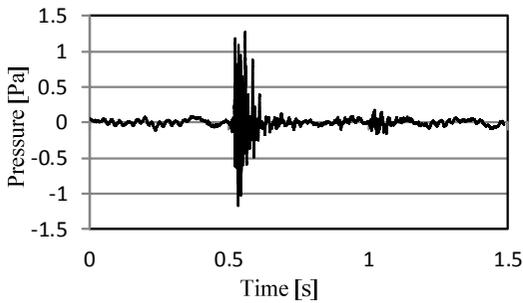


Fig. 2.1 Operating sound of Door Latch

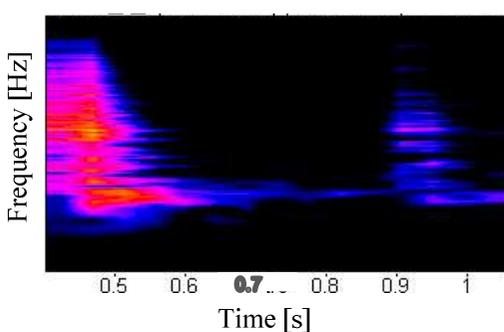


Fig. 2.2 Time-frequency property of ‘Lock’ sound

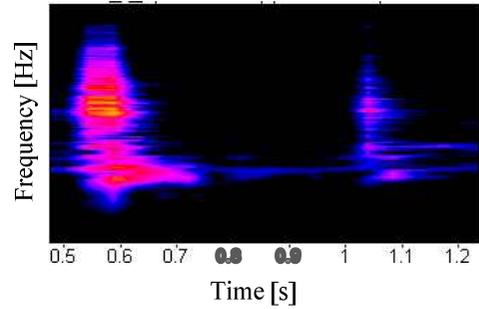


Fig. 2.3 Time-frequency property of ‘Unlock’ sound

3. 청음 평가를 통한 주관적 선호도 조사

3.1 청음 평가 방법

주관적인 선호도를 조사하기 위해 실시한 청음 평가는 Rating Method를 이용하여 진행하였다. Rating Method란 평가자가 샘플을 듣고 각각의 샘플에 독립적으로 점수를 매겨 평가하는 방법이다. 다른 방법에 비해 평가가 쉽고, 시간이 비교적 적게 걸리는 장점이 있어 집중력을 잃기 쉬운 초보자를 대상으로도 높은 신뢰도를 확보할 수 있다.

그림 3.1은 본 연구에서 청음 평가에 사용한 소프트웨어인 Ricardo社의 Risa이다. 평가자는 차량의 모델명을 모른 채 소리만으로 평가를 하며, 0 점부터 10 점까지 점수를 주는 방식으로 평가하였다. 또한 평가 중에 점수 선정 이유에 대한 코멘트를 하여 향후 주관적 특성 데이터 분석에 활용하고자 하였다.

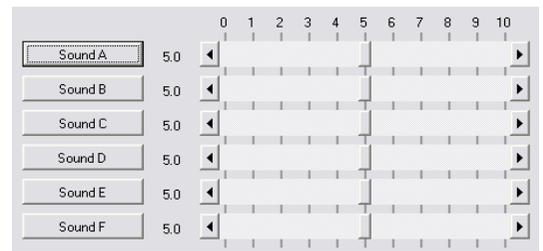


Fig. 3.1 Risa(Ricardo社) used in jury testing

청음 평가에 사용된 차는 총 8종이며, 엔진 배기량 및 제조업체가 다양한 차종들로 이루어져 있다. 작동음 분석 결과 상이한 것으로 나타난 잠금 작동음과 열림 작동음을 각각 한 세트 구성하여 총

16개의 샘플을 사용했다.

3.2 청음 평가 결과

그림 3.2와 그림 3.3은 각각 도어 랫치의 ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음의 청음 평가 결과이다. ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음 모두 1위를 차지한 Car 5는 배기량이 가장 작은 경차이고, 하위 그룹에 속하는 Car 6과 Car 7은 차량의 배기량은 중형급 차량이다. 이를 통해 봤을 때 자동차의 배기량이 도어 랫치 작동음 선호도와 큰 상관관계가 없는 것을 알 수 있다.

그림 3.4는 잠금 작동음과 실차 작동음의 선호도 상관관계를 나타낸 것이다. 특성 분석 결과 서로 다른 특성을 가지고 있는 것으로 나타났던 두 작동음 간에 청음 평가 결과 순위 간 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타났다.

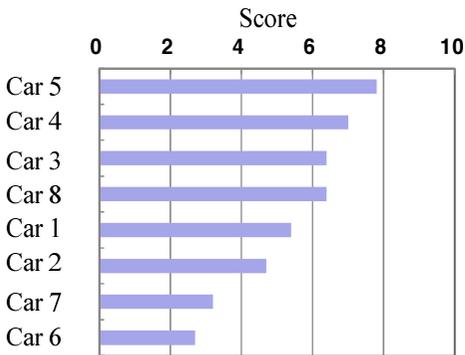


Fig. 3.2 Result of jury testing using ‘Lock’ sound

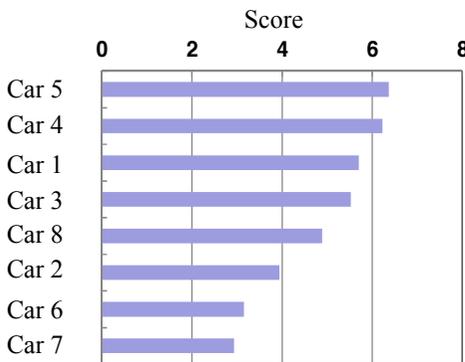


Fig. 3.3 Result of jury testing using ‘Unlock’ sound

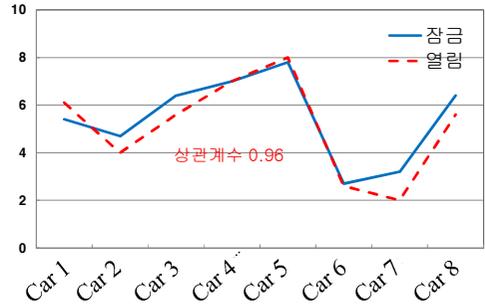


Fig. 3.4 Correlation of ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음의 선호도 상관관계

4. 도어 랫치의 음질 지수 개발

4.1 객관적 인자 선정

음질 지수 개발을 위해서는 소리의 객관적 특성들을 선정하여 그 수치와 주관적 선호도의 관계를 분석할 필요가 있다. 그러한 분석에 사용될 객관적 인자들은 청음 평가와 동시에 실시한 인터뷰를 통해 선정하였으며, 그 내용을 표 4.1에 나타내었다.

어떤 도어 랫치의 작동음이 고급스럽다고 느끼느냐는 질문에 대부분의 평가자들은 가장 먼저 작동음의 크기를 문제 삼았다. 대체적으로 너무 큰 소리는 싫어했고, 나아가 고급스럽지 않다고 생각했다. 하지만 작동음의 크기보다 더 중요하게 생각하는 것은 음색이었다. 소리의 크기는 특정 기준 이하로만 작다면 크게 문제 되지 않지만, 문이 잠기거나 열릴 때 발생하는 소리의 음색은 제품의 신뢰도와 관계가 있는 것 같아 보였다. 지나치게 고음이라서 싫다거나, 중저음의 소리가 묵직해 보여 고급스럽다는 등의 주파수와 관련된 의견이 주로 나타났다. 그 밖에도 다른 도어 랫치와 비교했을 때 후음이 너무 늦게 들려 답답하다는 등의 의견도 있었다.

Table 4.1 Selected objective metrics based on the results of interviews

| 주관적 표현 | 공학적 표현 | 선정 인자 수 |
|--|----------------------|---------|
| ‘조용하다’, ‘시끄럽다’, ‘소리가 너무 크다’ 등 | Loudness related(L) | 5 |
| ‘지나치게 고음이다’, ‘장난감 같이 가볍다’, ‘저음이 고급스럽다’ 등 | Sharpness related(S) | 9 |
| ‘부드럽게 열린다’, ‘후음이 늦게 들린다’ 등 | Time related(T) | 4 |

인터뷰를 통하여 알아낸 평가자 들의 주관적인 기준들을 토대로 도어 랫치 작동음의 고급감에 영향을 미치는 인자를 선정하였다. 소리의 크기와 날카로움, 그리고 시간에 관련된 인자가 주요한 인자가 될 것으로 예상 할 수 있었으며 그에 따라 각각 5개, 9개, 4개의 인자를 선정하였다.

4.2 도어 랫치 음질 지수 개발

선정한 인자들을 통해 회귀 분석을 실시하였고, 그 중에서 가장 상관도가 높은 회귀식을 발견하였다. 식 1과 식 2는 각각 ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음의 음질 지수다. 두 식 모두에서 소리의 크기에 관련된 L₁ 인자와 소리의 날카로움과 관련된 S₆가 작을수록 음질 지수가 높은 것으로 나타났다.

$$SQI_{Lock} = 27.15 - 0.23 L_1 - 6.60 S_6 \quad \text{--- (식 1)}$$

$$SQI_{Unlock} = 23.68 - 0.16 L_1 - 8.10 S_6 \quad \text{--- (식 2)}$$

각각의 음질 인자의 기여도를 표준화한 값을 표 4.2와 표 4.3에 나타내었다. ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음 모두 L₁의 기여도보다 S₆의 기여도가 더욱 큰 것으로 나타났다. 이는 도어 랫치 작동음의 고급스러움은 소리의 크기보다는 소리의 날카로운 정도에 더욱 영향을 받는 것이라고 해석할 수 있다. 단순히 표현하여 작동음의 주파수 대역이 저주파일수록 더욱 고급스럽게 느껴지는 것이라고 할 수 있다.

Table 4.2 Regression statistics of SQI of door latch ‘Lock’ sound

| | SE Coeff. | P-value | R-sq(adj) |
|----------------------|-----------|---------|-----------|
| SQI | | 0.003 | 90.8 % |
| L₁ | 0.03 | 0.005 | |
| S₆ | 3.93 | 0.15 | |

Table 4.3 Regression statistics of SQI of door latch ‘Unlock’ sound

| | SE Coeff. | P-value | R-sq(adj) |
|----------------------|-----------|---------|-----------|
| SQI | | 0.002 | 94.6 % |
| L₁ | 0.05 | 0.02 | |
| S₆ | 4.39 | 0.12 | |

5. 도어 랫치의 음질 개선안 개발

5.1 소음원 분석

도어 랫치가 실차에 장착 되어 있을 때 주 소음의 발생 지점을 확인하기 위하여 어쿠스틱 카메라를 이용해 음장 가시화 실험을 실시하였다. 원활한 실험을 위해 도어 모듈 전체를 리그에 설치해 촬영을 하였다. 음장 가시화 촬영에는 MEMS Mic. 타입 30ch. Spiral array 카메라를 사용하였다.

도어 랫치가 작동하는 순간에 찍은 음장은 그림 5.1에 나타난 것과 같다. 랫치 체결부와 노브가 주 소음원인 것으로 나타났다. 충격이 직접 발생하는 부분이 주 소음원으로 나타낸 것으로 보아 도어 랫

치의 충격음은 구조 기인 소음이 아닌 직접 방사음이라는 것을 알 수 있다.

본 실험은 단품 어셈블리 개선에 초점을 두고 진행되어있기 때문에 랫치의 가진력을 통해 문제를 해결하는 방법을 취하였지만, 향후 연구를 진행할 때는 노브 개선이 반드시 필요하다는 점을 염두에 둘 필요가 있다.

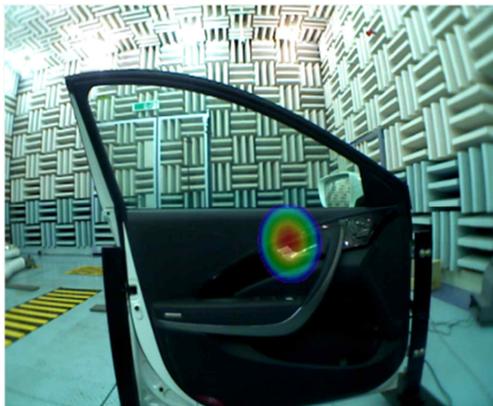
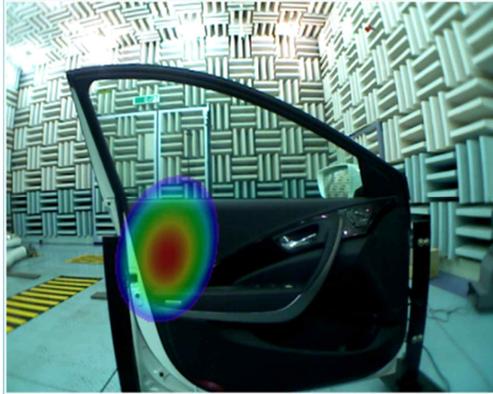


Fig. 5.1 Results of sound field visualization of door latch operating moment

5.2 충격음 개선안

도어 랫치 작동음은 주로 공기를 통해 직접 방사되는 것으로 음질 개선을 위해서는 단품의 충격음을 직접 줄이는 것이 가장 효과적일 수 있겠다는 결론을 내렸다. 그러므로 본 연구에서는 그러한 충격음 개선을 위해 도어 랫치 내부에 고점도 그리스를 적용한 개선품을 개발하였다. 이를 통해 충격 발생 순간에 가진력을 줄여 충격음 자체를 줄일 수 있을 것으로 기대했으며, 나아가 충격부의 강성을 줄이는 효과를 가져와 충격음 가진 주파수 범위 역시 더욱

낮아질 것으로 예상하였다.

개선품의 음질 개선 효과를 확인하기 위해서 도어 랫치 개선품을 실차에 체결하여 개선 전 모델과 동일한 방법으로 작동음을 녹음하였다. 또한 음질 개선 효과 확인은 또 다시 청음 평가를 실시하는 것이 아니라, 직접 녹음한 음원을 본 연구에서 개발한 음질 평가지수(SQI)에 대입하여 실시하였다. 이는 연구의 본래 목적인 음질 평가 방법의 간소화 측면에 부합하는 연구 방법이라 생각한다.

도어 랫치 개선품의 ‘잠금’과 ‘열림’ 작동음의 주요 음질 인자와 음질 지수 결과값을 표 5.1과 표 5.2에 각각 나타냈다. ‘잠금’ 작동음의 경우 L_1 은 6.2, S_6 는 0.11이 줄어든 것을 확인하였다. 이에 따라 총 음질 지수(SQI)는 2.15점이 증가하였는데 이는 10점 기준으로 봤을 때 매우 큰 향상이라고 할 수 있다. ‘열림’ 작동음의 경우는 L_1 은 4.7, S_6 는 0.06이 줄어든 것을 확인하였다. 그 결과 음질 지수(SQI)는 1.26점이 증가하였는데, 이는 ‘잠금’ 작동음에 비하면 작은 수치지만 이 역시 큰 진보라고 평가할 수 있다.

Table 5.1 Sound measurement results of modified door latch in ‘Lock’ sound

| | 개선 전 | 개선 후 |
|-------|------|------|
| L_1 | 83.4 | 77.2 |
| S_6 | 1.00 | 0.89 |
| SQI | 1.36 | 3.51 |

Table 5.2 Sound measurement results of modified door latch in ‘Unlock’ sound

| | 개선 전 | 개선 후 |
|-------|------|------|
| L_1 | 81.6 | 76.9 |
| S_6 | 0.97 | 0.91 |
| SQI | 2.73 | 3.99 |

6. 결 론

도어 랫치 작동음은 ‘잠금’과 ‘열림’이 상이한 특성을 가지고 있지만, 사람들의 선호도 측면에서는 모델 간에 어느 정도의 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있었다.

도어 랫치 작동음은 ‘잠금’과 ‘열림’ 작동에서 모두 소리의 크기가 작을수록 소리가 덜 날카로울수록 고급스러운 소리인 것으로 나타났다. 또한 그 중에서도 소리의 날카로운 정도가 소리의 고급감에 더욱 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였다.

도어 랫치 충격음은 주로 공기 기인으로 전달됨을 확인하였다. 그러므로 도어 랫치 작동음 음질 개선을 위해 단품의 충격음을 직접 줄이는 개선안을 채택하였고, 그 개선품을 본 연구에서 직접 개발한 음질 지수에 대입해 봄으로써 음질 향상을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 현대자동차(주)와 한국연구재단(BK21 사업)의 지원으로 이루어 졌습니다.

참 고 문 헌

- (1) C. J. You., 2008, An Experimental Study on Motor Noise Reduction of Electric Power Steering, Journal of the Korea Society For Power System, Vol. 12, No. 6, pp. 83~87.
- (2) Jinsoo Kim, Kyungnae Lim, Sejin Ku, Jangwoo Lee, Simoon Jeon, 2008, Study on the Noise Reduction in the Rotary Compressor Using BLDC Motor, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 18, No. 9, pp. 920~929.
- (3) Youngkwan Lim, Eunhee Lee, Joungmin Lee, Choongsub Jeong, , Performance of Automotive Wheel Bearing Grease by Water Contents, Journal of the Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers, Vol. 27, No. 5, pp. 275~280
- (4) Brian C. J. Moore, 2011, An Introduction to The Psychology of Hearing, Emerald Group Publishing, West Yorkshire.

(5) Hugo Fastl, Eberhard Zwicker, 2006, Psychoacoustics : Facts and Models, , Springer, Berlin.

(6) Aaron Hastings, Kyoung Hoon Lee, Patricia Davies, Aimée M. Surprenant, 2003, An Measurement of the attributes of complex tonal components commonly found in product sound, Noise Control Engineering Journal, Vol. 51, No. 4, pp.195~209.