

시트 벨트 인출 소음 평가 기술 및 인덱스 개발 연구

조 혜 영¹⁾ · 이 상 권^{*1)} · 강 희 수¹⁾ · 손 주 환²⁾

인하대학교 기계공학과¹⁾ · 현대자동차 차체의장개발팀

Development of Seat Belt Pulling Noise Index and Evaluation System Research

Hye-Young Cho¹⁾ · Sang-Kwon Lee^{*1)} · Hee-Su Kang¹⁾ · Joo-Hwan Son²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-752, Korea

²⁾Body & Trim Development Team, Hyundai Motor Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 3 July 2014 / Revised 1 September 2014 / Accepted 1 November 2014)

Abstract : The purpose of this study is developing the quantify the seat belt pulling Noise index and evaluation method. This paper presents the objective method to evaluate the emotional feeling about the pulling Noise of the seat belt. The physical quantification is required to objectively evaluate the emotional feeling of the pulling Noise. This is called the "Noise metric." The Noise metric is should correlated to the subjective rating of the pulling Noise. The pulling Noise index is developed throughout the linear regression of the Noise metric and the subjective rating. The developed index is used for the objective evaluation of the emotional feeling about the pulling Noise of a seat belt throughout the modification of seat belt components.

Key words : Seat belt(시트 벨트), Pulling noise(인출 소음), SMD(의미분별법), Noise metric(인출 소음 인자), Linear regression(선형 회귀 분석)

1. 서 론

자동차 산업에서 자동차 시트는 차량 구입을 결정함에 있어 중요한 요소 중 하나이다. 시트 벨트의 주요한 기능은 승차자의 안전을 위함이다. 하지만, 운전자가 시트 벨트를 사용할 때의 감성 품질도 중요하다. 벨트를 당기는 도중 마찰음이 많이 나게 되면 거슬리게 느껴질 수 있다. 따라서 시트 벨트의 당기는 인출감은 중요한 자동차 실내 디자인 설계 매개 변수 중 하나이다. 본 연구는 시트 벨트 인출소음의 정량화와 그에 대한 평가 방법에 대한 기준을 제시한다. 인출소음의 객관적 평가를 위해 물리적 정량화가 필요하다. 이것을 시트 벨트 인출소음 인덱스라고 칭하며, 인출소음 데이터와 주관적 감성평가 결과와 상관성이 있어야 한다. 본 연구에서는, 시

트 벨트 인출소음의 평가 방법을 제정하고 인출소음을 정량화 시키며 주관적 감성 평가 결과와 18대 차량 측정 데이터 사이의 선형 회귀 분석을 통하여 시트 벨트에 관한 감성 평가 지표인 시트 벨트 인덱스를 제작하여 시트 벨트 인출소음의 객관화가 가능하다. 이러한 시트 벨트 인출소음의 정량화를 통해 차후 개발 또는 제작할 시트 벨트의 감성 품질에 대해 체계적으로 접근하여 보다 객관적이고 신뢰성 있는 개발을 진행할 수 있다.

2. 데이터 측정 및 방법

객관적인 시트 벨트 인출소음을 측정하기 위하여 측정방법에 대한 일련의 절차를 수립하고 실험을 진행하였다. 실험 과정은 다음과 같다. 본 연구에서는 소형, 중형, 대형, SUV 차량으로 이루어진 A부터

*Corresponding author, E-mail: sangkwon@inha.ac.kr



Photo. 1 Microphone setup for measurement



Photo. 2 D-ring setup for measurement

R까지의 18대의 상용 차량을 대상으로 측정을 진행하였다. 무향실에서 차량을 준비 한 후, 시트 벨트 인출소음 측정을 하기 위해 먼저 헤드 레스트 거치대를 이용하여 Photo. 1과 같이 마이크를 사람 귀 위치에 알맞게 고정시킨다.

다음으로 초기 인출 위치는 D-ring과 맞닿아 있는 부분부터 수평 20cm에 위치시킨 후 인출을 시작하여, 일정한 속도로 인출하도록 한다. 이 과정을 동일한 사람이 같은 조건 하에 한 차량 당 4 ~ 5 회에 걸쳐 반복하여 인출하고 테스트랩으로 데이터를 수집한다.

뒷좌석도 앞좌석과 마찬가지로 실험을 진행한다. 이 때, 정확한 측정을 위해 소음 측정은 무향실에서 진행해야 한다.

3. 인출 소음 인덱스 제작

앞에서 측정된 인출 소음 데이터로부터 발생하는 소음에 대한 음질을 분석하고, 감성평가 실험을 통해 평가 기준을 확보하며, 또한 이를 객관적으로 평가할 수 있는 음질 인덱스를 개발하는 것이 본 연구를 통해 추진하고자 하는 목표이다. 이러한 음질 인덱스는 음색에 대한 객관적인 측정 기준이 된다.

3.1 주관적 감성 평가

주관적 감성 평가 또한 앞서 측정한 차량 실험과 동일한 18대의 차량에 대해 진행하였다. 남성 21명과 여성 20명 총 41명으로 구성된 평가자들이 주관적 평가에 참여했다. 평가의 객관성과 신뢰성을 확보하기 위하여 모든 평가자들은 평가 이전에 사전 교육을 진행하였다. 교육 내용에는 평가를 할 때, 최대한 브랜드 또는 차종이 아닌 시트 벨트 자체 성능에 대해 평가하도록 하였고, 18대 차량 중 한 차량을 reference 차량으로 지정하여 중간 중간 비교하며 평가하도록 유도하였다. 모든 시트 벨트 테스트는 대략 2시간 정도 소요되었으며 본 연구에서 수립한 기준을 바탕으로 같은 조건에서 시트 벨트를 당기며 진행하였다. 주관적 평가는 의미 분별법(SMD; Semantic Differential Method)을 통해 시트 벨트와 관련된 Quiet-Loud, Comfortable-Uncomfortable, Smooth-Rough, Luxurious-Not luxurious의 총 4가지의 질의 어 쌍에 대한 설문을 하는 형식으로 진행하였으며 Rating Method를 통해 -3점(아주 나쁨)부터 +3점(아주 좋음)까지 점수를 각 차량별로 부여하는 방식으로 평가를 진행하였다.¹⁾

주관적 감성 평가 결과는 Fig. 1, 2와 같이 나타남을 확인할 수 있었다. 각 그래프의 x축은 A ~ R까지의 차량을 감성 평가가 높은 순으로 나열하였고, y축은 -3점부터 +3점까지의 각각의 점수를 나타낸다. 각 평가의 평균치는 o모양으로 표시하였고, 세로선의 폭은 각 평가치의 standard deviation을 나타내었다. Front Noise 감성 평가에서는 B, D 차량이 가장 높

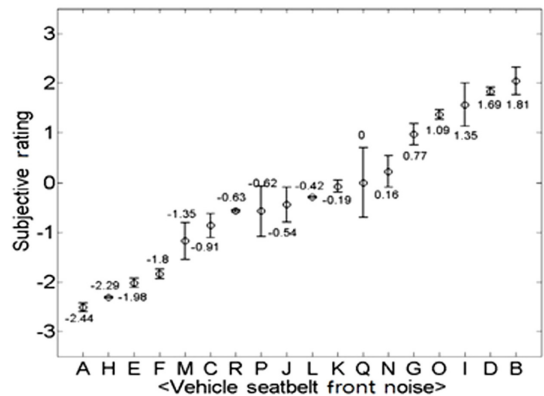


Fig. 1 Subjective evaluation result of front noise

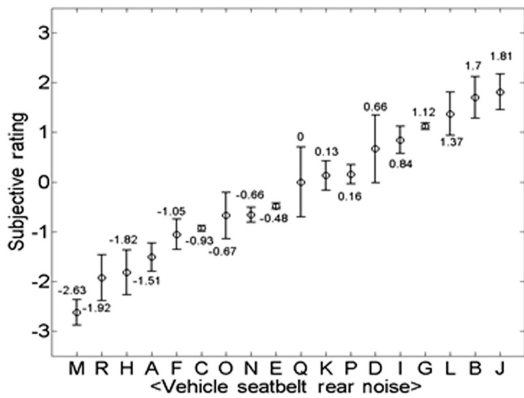


Fig. 2 Subjective evaluation result of rear noise

은 점수를 얻었고, A차량이 낮은 점수를 가졌다. 그리고 Rear Noise 평가에서는 M차량이 가장 낮은 점수를 얻었고, B, J차량이 높은 점수를 가진 것을 확인할 수 있다.

3.2 인덱스 제작

시트 벨트 인출소음의 주관적 감성 평가 결과를 회전 방법(varimax rotation)을 이용한 요인 분석을 한 결과, 4개의 질의어 쌍들이 1개 군집으로 설명 가능하다는 것으로 도출되었고, 따라서 시트 벨트 소음 평가에 대한 대표 질의어를 ‘Comfortable-Uncomfortable’로 선정하였다.

측정한 18대 차량의 36개 시트 벨트 인출 소음 데이터로부터 음압 레벨 및 객관적 음질 요소인 평균 소음, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength에 대한 값을 상용 음질 분석 프로그램 Artemis 12.01을 이용하여 분석을 진행하였다. 대표 질의어에 대한 주관적 평가 결과를 Box-whisker plot을 이용하여 정상적인 수준을 초과하여 벗어나는 이상치를 제거하고, 인덱스를 제작하기에 앞서 4가지 객관적 음질 요소와 상관성을 분석하였다.²⁾

Fig. 3에서와 같이 Front Noise의 평균 소음, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength와 주관적 음질 평가 결과와 상관성을 분석한 결과, 평균 소음과의 상관도는 -91.5%로 매우 높은 음의 상관도를 나타낸 반면 다른 세 가지 음질요소와는 상관도가 매우 떨어지는 결과를 얻었다.

Fig. 4는 Fig. 3과 같이 18대 차량의 인출소음의 주

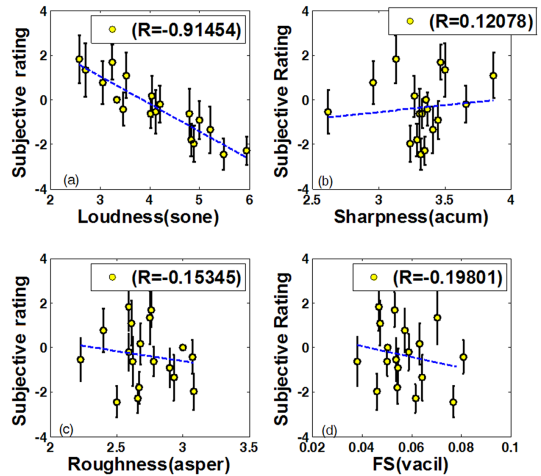


Fig. 3 Subjective evaluation result and noise metrics of front noise

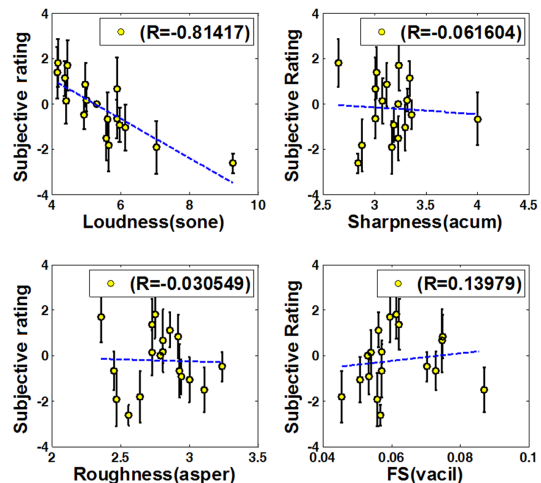


Fig. 4 Subjective evaluation result and noise metrics of rear noise

관적 평가 결과와 객관적 음질 요소들과의 상관성을 분석한 그래프이다. Fig. 3과 마찬가지로 평균 소음과의 상관성은 96.3%로 확연히 높지만 다른 음질 요소들과는 상관성이 매우 떨어지는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 시트 벨트 인출소음의 음질 인덱스는 평균 소음만의 함수로 도출하는 방식으로 진행하였다.

각 차량 별 객관적 음질요소와 주관적 감성 평가 결과와 선형 회귀 분석(Linear regression analysis)을 통해 인과 관계를 분석하여 두 값 사이의 상호 관계

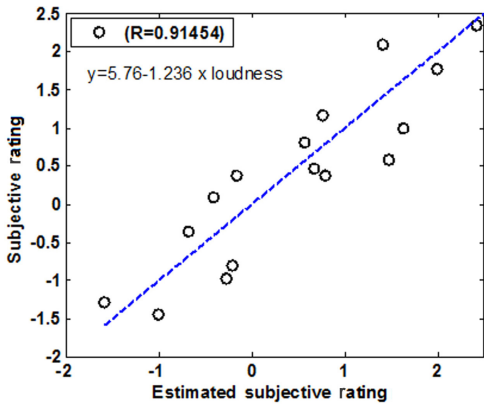


Fig. 5 Subjective evaluation result and SPNI value of front noise

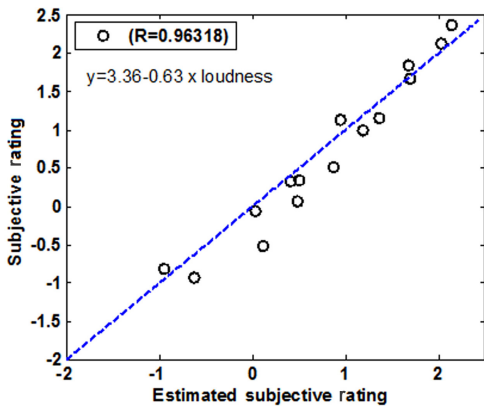


Fig. 6 Subjective evaluation result and SPNI value of rear noise

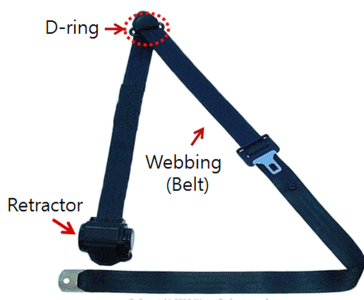


Fig. 7 Factors of constituting the seat belt system

함수인 회귀식, SPNI(Seatbelt Pulling Noise Index)를 도출하여 음질인덱스를 도출하였다.³⁾ 식 (1)은 Front Noise에 대한 음질 인덱스이고, 식 (2)는 Rear Noise에 대한 음질 인덱스이다. 각 식에서 L은 평균 소음을 의미한다. Fig. 5는 ‘Comfortable - Uncomfortable’

질의어 쌍에 대한 인덱스와 주관적 감성 평가 결과에 대한 상관성을 나타낸 그래프이다.

$$* SPNI = 5.761 - 1.236 * L \quad (1)$$

(R = 91.5%, R² = 83.7%, Sig. = 0.000)

$$** SPNI = 3.364 - 0.629 * L \quad (2)$$

(R = 96.3%, R² = 92.7%, Sig. = 0.000)

where L : 평균 소음 (N)

Front Noise, Rear Noise 모두 식의 설명소음인 R² 값이 90 이상으로 높았고, 유의수준은 0.05보다 낮은 0.000으로 매우 유의한 것을 확인할 수 있다. 다시 말해, 이러한 결과는 이 식이 시트 벨트 인출소음의 감성 평가 점수를 잘 예측하고 있다는 의미이다.

4. 시트 벨트 인자 변경 실험

인덱스 개발에 이어 부가적인 실험으로 시트 벨트를 구성하는 인자를 변경하여 실험을 진행하였다. 인자 변경 실험의 목적은 시트 벨트를 구성하고 있는 각각의 인자들의 기여도를 분석하고 인자들을 변경함으로써 개선된 시트 벨트를 도출하는데 있다. 시트 벨트를 구성하는 인자들을 크게 보면 D-ring, Retractor, Webbing이 있고, 배치하는 위치에 따라서 또한 인출 품질이 달라진다. 여기서 D-ring은 시트의 위쪽에 위치하여 사람이 당길 때 당길 수 있는 위치에 있게 지지하는 역할을 하는데, 여기서 마찰이 발생하여 인출 소음 및 인출 감성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 Retractor는 Spiral Spring이 장착되어 있어 시트 벨트의 Webbing을 감고 있고, 또한 권입력에 의한 마찰력이 작용하여 인출 감성에 영향을 미친다. Retractor에서는 내부에 들어있는 Spring의 당기는 소음에 의하여 인출 감성에 영향을 미칠 수 있다. 각도 또한 각도가 달라지면 D-ring과 접촉하는 면적이 달라지므로 인출 시 발생하는 마찰에 영향을 미친다. 본 연구에서는 앞서 측정된 18대 차량 중 가장 평가 결과가 낮았던 M차량의 벨트를 변경하며 실험을 진행하였다. 실험에서 변경한 인자들은 Retractor Spring, Type of D-ring, Webbing Angle의 세 가지를 변경하며 진행하였다.

Table 1은 인자 변경 실험에서 진행한 요인과 그 수준들을 정리해 놓은 표이다. Retractor Spring은 회

Table 1 Factors of factorial design experiment

	1	2	3
Retractor spring	18	20	22
Type of D-ring	Chrome	Full-metal	
Webbing angle	40°	57°	74°

Table 2 All cases of factors and levels

No.	D-ring	Spring	Angle
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

전수를 변경하였는데 기본 값인 20회에서 각각 증가/감소시킨 값인 18회, 22회의 수준으로 제작하였다. 그리고 D-ring은 Type이 많지 않아 일부분이 크롬 도금으로 된 Chrome Type과 D-ring 자체가 금속으로 제작된 Full-metal로 제작하였고, Webbing의 각도는 세 가지로 수준을 분류하였다. 각 인자와 수준의 수가 같지 않으므로 완전 요인 분석을 진행하였으며, 모든 경우의 수 18회에 대하여 실험을 진행하였다. 실험 번호와 각 실험 번호에 대한 인자와 수준의 값은 다음 Table 2와 같다.

여기서, No. 5가 기준 'M'차량과 같은 기본 조건의 시트 벨트이다. Table 2의 18회의 인자 변경 실험을 앞에서 측정된 방법과 동일한 방법으로 측정을 진행하였다. 측정된 결과로부터 본 연구에서 개발한 인덱스를 적용하여 인출소음 인덱스를 도출하였고, No.12 실험의 조건이 가장 좋은 감성 평가 예측 값을 나타내었다. 반면에 No.7 실험의 조건이 가장

나쁜 감성 평가 예측 값을 가졌다. 인자 실험 분석을 통해 분산 분석을 진행하여 각 인자들의 인덱스에 대한 주효과도를 분석하였는데, Retractor Spring에 대한 효과가 가장 큰 것으로 나타났고, 반면 Angle에 의한 효과는 미미했다. 본 연구 결과를 통해, 시트 벨트 감성 품질은 Retractor Spring의 회전수가 낮을수록, D-ring이 Full-metal일수록 더 좋은 감성 평가를 가진다는 결론이 도출되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 시트 벨트 인출소음 평가의 객관적인 평가 방법과 인출 소음 인덱스를 개발하였다. 각 차량별 주관적 감성 평가를 실시하여 객관적 음질 요소와 분석한 결과, 시트 벨트 인출소음은 평균 소음(F)에 크게 좌우된다고 판단되었다. 이는 시트 벨트 인출 소음은 크게 특징지어지는 음색이 없이 소음의 크기에 의존한다고 할 수 있다. 또한, 인자 변경 실험을 통해 시트 벨트를 구성하는 Retractor Spring이 시트 벨트의 감성 품질에 가장 영향을 많이 미친다는 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 D-ring의 마찰이 작을수록(Full-metal인 경우), Retractor에 들어가는 Spring의 회전수가 낮을수록 시트 벨트 인출소음의 감성 품질 예측 값이 높은 점수를 나타낸다는 결과를 얻었다. 따라서, 본 연구를 통해 개발한 시트 벨트 인출소음 평가법과 인덱스를 사용하면 앞으로 제작 및 개발 될 시트 벨트 시스템에 대한 보다 효율적이고 신뢰성 있는 설계를 진행할 수 있고 더 나아가 시트 벨트의 감성 품질 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2010-0014260)

References

- 1) N. Otto, "Listening Test Methods for Automotive Noise Quality," 103rd Audio Engineering Society Convention, 2006.

2) E. Zwicker and H. Fastl, Psychoacoustics Facts and Models, 3rd Edn., Springer-Verlag, Berlin, 1990.

3) R. H. Myers, Classical and Modern Regression with Applications, Duxbury Resource Center, PWS-KENT, New York, 1986.