

차량용 전동 롤러 블라인드의 음질지수 개발

Sound Quality Index Development of Electrically Powered Vehicle Roller Blind

성원찬* · 조현호* · 김성현** · 박동철** · 강연준†

Weonchan Sung, Hyeonho Jo, Seonghyeon Kim, Dongchul Park, Yeonjune Kang

Key Words : Psychoacoustics(심리음향학), Sound Quality(음질), Subjective Evaluation(주관적 음질 평가), Roller Blind(롤러 블라인드), Sound Quality Index(음질 지수)

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify the significant sound quality metric and compose the sound quality index of motor driven roller blind which is part of vehicle sunroof. Before subjective evaluation, sound characteristics of roller blind was analyzed and set the target operating sound for subjective evaluation. Thus, transfer sound of roller blind which has the characteristics of sound modulation was used for subjective evaluation. Linear regression was carried out by chosen Zwicker's metrics which are pointed by comments of jurors. Loudness and sharpness related metrics are prime metrics in sound quality index we composed. Effect of roller blind assay when it is attached to real vehicle was identified to evaluate the validity of index.

1. 서 론

사회가 발전함에 따라 사람들의 소비 습관은 변화하고 있다. 질보다는 양을 추구하고 부수적인 기능보다는 본질적인 기능만을 추구하던 예전과는 달리 하나를 사더라도 만족감을 줄 수 있는 고급화된 제품을 많이 선호한다. 자동차 시장에서의 선호도 또한 이러한 소비 행태와 유사한 동향을 보이고 있다. 자동차 안에서 보내는 시간이 길어짐에 따라 단순 이동수단으로써의 자동차의 기능뿐만 아니라 여러 가지 편의 장비를 갖춘 자동차를 선호한다. 점점 더 다양한 차종을 접할 기회가 많아지고 그에 따라 자연스럽게 고급 자동차를 접할 기회가 많아짐에 따라 소비자들의 자동차에 대한 다양하고 까다로운 기준을 갖고 구매한다. 자동차의 음질(Sound Quality)은 소비자들의 여러 가지 기준들 가운데 굉장히 중요한 요소이다. 차량의 고급화와 함께 차 내부에 모터를 이용해 구동하는 부품들이 많아짐에

따라 모터로 구동되는 부품의 음질 개선은 전체 차량의 음질 개선을 하기 위해서는 꼭 선행되어야 하는 연구 분야이다⁽¹⁾.

자동차의 선루프는 롤러 블라인드(Roller Blind)와 루프 글래스로 이루어져 있다. 루프 글래스는 실제로 열려서 바깥과 연결되는 부분이고 롤러 블라인드는 루프 글래스와 차실 사이에서 루프 글래스를 통해서 빛이 실내로 들어오는 것을 막아주는 부분이다. 선루프를 열면 먼저 롤러 블라인드가 열리고 루프 글래스가 열리는데 이 시간이 상당히 길기 때문에 소비자들은 이 소리에 민감하게 반응할 수 있다. 본 연구는 롤러 블라인드의 음질을 평가할 수 있는 음질지수를 개발하기 위해 작동음 특성을 분석하고 주관적 음질 평가를 통해 좋은 음질의 기준을 정립하고, 나아가 음질 지수를 개발하여 음질 개선 방향을 제시하는 것을 목표로 하였다.

† 교신저자; 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : yeonjune@snu.ac.kr

Tel : (02)880-1691, Fax : (02)888-5950

* 정희원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

** 정희원, 현대자동차주

2. 롤러 블라인드 작동음 특성

Fig. 2.1과 같이 롤러 블라인드의 작동음은 롤러 블라인드가 열릴 때와 닫힐 때 발생하는 충격음과 그 사이에 롤러 블라인드가 이송하면서 발생하는 변조특성의 이송음으로 이루어져 있다. 모델마다 차이는 있지만 충격음은 0.5초 이내로 발생하고 이송음은 4 - 5초 정도로 길게 발생한다. 선루프 시스템의 루프 글래스는 충격음과 이송음의 음압 레벨 차이가 15dB 이상 나타나지만 롤러 블라인드의 경우에는 음압 레벨 차이가 5dB 내외로 차이가 나타난다. 주관적 음질 평가를 실시함에 앞서 평가자들에게 사전 평가를 한 결과 롤러 블라인드의 음질을 평가함에 있어 소리의 발생 시간이 짧고 이송음과의 음압 레벨 차이가 낮은 충격음보다는 소리의 발생 시간이 긴 이송음이 롤러 블라인드의 음질을 결정하는 중요한 요소임을 알 수가 있었다. 따라서 본 논문에서는 롤러 블라인드의 음질을 평가함에 있어서 충격음이 아닌 이송음을 기준으로 음질 지수 개발 연구를 진행하였다.

롤러 블라인드의 이송음은 Fig. 2.2와 Fig. 2.3에서 확인할 수 있듯이 특정 주파수에서 토널음이 발생한다. 특정 주파수에서 발생하는 토널음이 모터에서 기인한 것으로 예상하여 모터 인가 전압을 추적해 본 결과 Fig. 2.4와 같이 특정 주파수의 토널음은 모터에 의해서 발생했다.

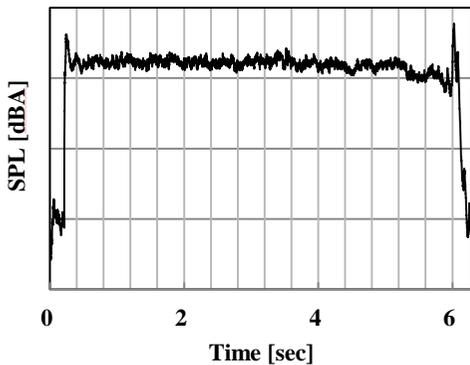


Fig. 2.1 Operating sound of roller blind

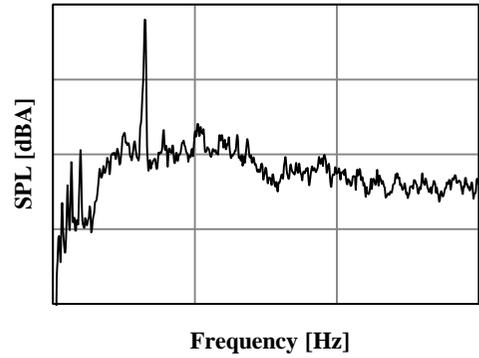


Fig. 2.2 FFT of roller blind

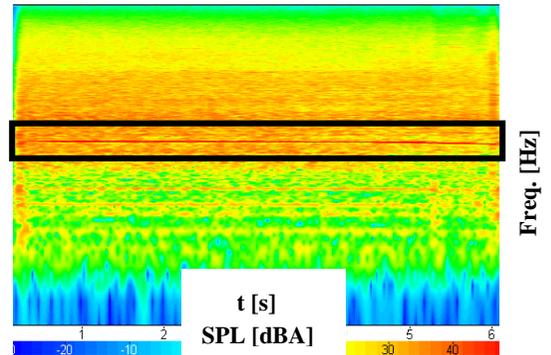


Fig. 2.3 Waterfall of roller blind

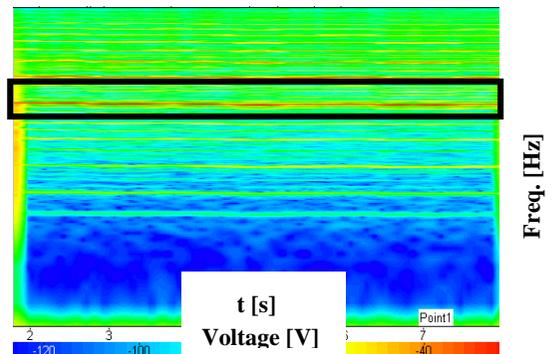


Fig. 2.4 Voltage applied to roller blind motor

3. 주관적 음질 평가를 통한 선호도 조사

3.1 음원 정보 및 평가자 정보

롤러 블라인드의 주관적 음질 평가(Subjective Evaluation)를 하기 위해서 총 6가지 차종의 롤러 블라인드 음원을 사용했다. 음원은 HEAD acoustics사의 PEQ V와 고성능 헤드폰을 사용하여 Fig. 3.1과 같이 무향실에서 재생 하였다.

평가자는 충분히 훈련된 차량 NVH 전공 대학원생 8명과 비공학 전공자 6명 총 14명을 대상으로 실시 하였다. 평가자의 평균 나이는 약 28세로 청력 손실이 없는 25세에서 35세 사이의 남성이다.

3.2 평가 방법 및 결과

평가자들 사이에 초보자가 포함되어 있는 것을 고려하여 초보자들이 평가해도 비교적 오차가 작은 레이팅 척도법을 사용하여 평가하였다⁽²⁾. 레이팅 척도법은 평가자가 음원의 샘플을 듣고 각각의 샘플에 대해서 독립적으로 점수를 부여하는 방법이다. 많은 레이팅 척도법에서 7점 평가법을 사용하지만 차량의 감성 평가법과 점수 비교의 용이성을 위해 10점 평가법으로 평가하였다. 평가자들이 롤러 블라인드 소리에 익숙하지 않을 경우를 대비하여 평가 전에 여러 가지 롤러 블라인드의 소리를 들려준 후에 어떤 롤러 블라인드 소리가 가장 고급스럽게 들리는지에 대해 평가를 진행하였다. 또한 평가자에게 롤러 블라인드의 소리의 선호도를 판단하는 기준을 조사하여 음질 평가 지수 개발에 필요한 인자를 선정할 때 활용하였다.



Fig. 3.1 Subjective evaluation in anechoic chamber

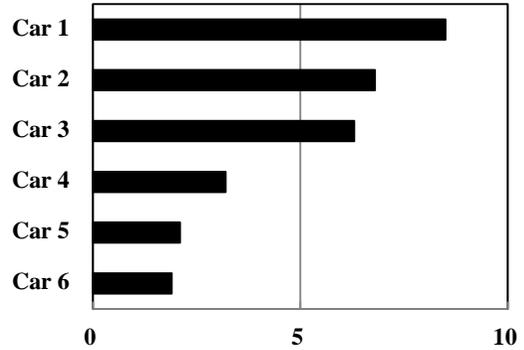


Fig. 3.2 Result of subjective evaluation

평가자마다 평가하는 점수의 범위가 다르지만 평가자가 일관성을 가지고 평가하면 유효한 결과로 사용할 수 있기 때문에 따로 점수에 대한 보정은 하지 않았다⁽³⁾.

Fig. 3.2에 주관적 음질 평가 결과를 표시하였다. 소리의 선호도를 판단하는 기준을 조사해본 결과 평가자들은 너무 큰 소리이거나 날카로운 소리, 또는 쉰리는 듯한 소리, 균일하지 못한 소리를 싫어했다. 반대로 조용하고 안정된 소리, 부드러운 소리, 균일하게 열리는 소리를 좋아했다.

4. 롤러 블라인드의 음질 지수 개발

4.1 객관적 인자 선정

롤러 블라인드의 음질 지수를 개발하기 위해서는 주관적 음질 평가 결과와 평가자들이 선호도를 평가하는 기준을 공학적으로 표현할 수 있도록 선정된 객관적 인자 사이의 관계를 분석해야 한다. Table 4.1에 평가자들의 인터뷰를 통하여 알아낸 주관적인 표현들과 그에 상응하는 공학적인 표현, 또한 공학적 표현을 바탕으로 쓰비커 인자 중에 알맞은 인자를 선정하여 나타냈다⁽⁴⁾. 평가자들이 표현한 주관적 표현을 바탕으로 라우드니스에 관련된 인자 2가지, 샤프니스에 관련된 인자 4가지, 러프니스에 관련된 인자 1가지, 그리고 모듈레이션에 관련된 인자 1가지를 선정하였다.

Table 4.1 Subjective evaluation in anechoic chamber

주관적 표현	공학적 표현	선정 인자	순위와의 상관관계
‘소리가 너무 크다’, ‘조용한 소리’ 등	Loudness related	L ₁	-82.9%
		L ₂	-94.9%
‘귀를 찌르는 듯한 소리’, ‘날카로운 소리’ 등	Sharpness related	S ₁	-64.1%
		S ₂	63.1%
		S ₃	-28.2%
		S ₄	-35.3%
‘부드러운 소리’, ‘쓸리는 듯한 소리’ 등	Roughness related	R ₁	-87.9%
‘음이 흔들리는 소리’, ‘균일한 소리’ 등	Modulation related	M ₁	-64.4%

Table 4.2 Regression statistics of SQI

	SE Coeff.	P-value	R ² (adj)
SQI		0.005	
L ₂	0.163	0.005	95.3%
S ₁	1.49	0.071	

알 수 있다. 회귀 분석을 통해서 얻어낸 두 가지 인자의 기여도를 알 수 있는 SE coefficient를 보면 샤프니스 관련 인자인 S₁이 기여도가 더 높음을 알 수 있다. 앞서 2장에서 언급한 바와 같이 롤러 블라인드의 작동음은 하나의 특정 주파수에서 토널 성분을 갖음을 알 수 있는데 SQI를 통해 도출된 결론과 일맥상통한다.

4.2 음질 지수 개발

선정한 인자들로 범용 통계 프로그램인 Minitab을 이용하여 회귀 분석을 실시하였고 식 (1)에 회귀식을 나타냈다.

$$SQI = 27.21 - 1.26L_2 - 4.10S_1 \quad (1)$$

SQI는 구성된 회귀식으로 음질 평가 지수를 나타낸다. 구성된 회귀식을 분석해 보면 라우드니스에 관련된 인자인 L₂와 샤프니스에 관련된 인자인 S₁이 작을수록 평가자들은 롤러 블라인드의 음질이 좋다고 평가했다. 즉, 롤러 블라인드의 소리가 작고 날카로운 소리가 작을수록 선호도가 높다. Table 4.2에 각각의 음질 인자의 기여도를 표준화한 값을 표시하였다. R²(adj)는 회귀식의 적합성을 나타내고 통상적으로 70% 이상이면 공학적으로 적합하다고 판단한다. 롤러 블라인드 SQI의 R²(adj)는 95.3%로 공학적으로 적합하다. 또한 P-value는 귀무가설이 참일 경우 구한 검정통계량보다 더 극단적인 결과가 나올 수 있는 확률을 나타내며 통상적으로 0.05보다 작으면 회귀식을 사용하는데 무리가 없다. 따라서 구성된 회귀식을 사용하는데 무리가 없음을

5. 단품과 실차의 상관관계 분석

롤러 블라인드 단품을 실차에 장착했을 때 작동음의 특성이 극명하게 달라진다면 단품의 음질 평가를 통해서 도출한 SQI는 크게 의미가 없게 된다. 따라서 단품을 실차에 장착한 경우의 작동음 특성 또한 분석해서 단품과 실차의 상관관계를 분석해야 한다. Fig. 5.1에 롤러 블라인드 이송음 단품과 실차 작동음의 주파수 특성을 나타냈다. 단품에 비교하면 실차에서의 전체적인 음압 레벨이 높아지는데 이는 차실의 영향으로 높아진 것으로 판단된다. 하지만 단품과 실차 모두 같은 주파수에서 토널음이 나타나기 때문에 단품을 실차에 장착해도 작동음의 특성이 크게 바뀌지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 롤러 블라인드 단품의 이송음을 개선하면 실차 상태의 이송음 또한 개선될 것으로 예상된다.

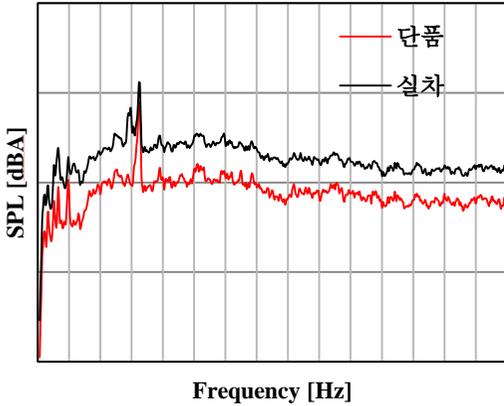


Fig. 5.1 FRFs of roller blind assy and real vehicle

6. 소음의 기여도 평가

롤러 블라인드 이송음의 소음의 기여도를 평가하기 위해서 무향실에 Fig. 6.1과 같이 리그를 설치하고 여러 가지 조건에서 음압을 측정하였다. 기본 상태와 모터 부분을 흡음체로 가린 경우, 모터 브라켓을 분리한 경우, 그리고 흡음체로 가리고 브라켓을 분리한 경우 총 4가지의 조건에서 음압을 측정했다. Fig. 6.2에 기여도 평가 결과를 나타냈다. 실차의 조건과 가장 흡사한 상태는 흡음체로 모터를 가린 상태이다. 흡음체로 모터를 가려서 방사 소음을 차단했을 때보다 모터의 체결부를 분리하여 진동 소음을 차단한 경우가 음압이 더 크게 감소함을 알 수 있다. 또한 흡음체만 사용한 경우보다 흡음체를 사용하면서 절연까지 동시에 시행한 경우에 음압 감소가 크다. 이런 결과들을 종합해 봤을 때 롤러 블라인드의 소음은 공기기인 소음보다는 구조기인 소음이 큰 기여도를 갖는다고 평가할 수 있다.

단순 음압의 감소가 음질의 향상으로 판단할 수는 없기 때문에 기여도 평가에 사용한 롤러 블라인드의 L₂, S₁인자를 구해서 기본 상태일 때의 SQI와 나머지 3가지 경우의 SQI를 비교해 봐야 한다. Table 6.1에 4가지 경우에 구한 SQI를 나타냈다. 기본 상태에서는 4.4점, 흡음체로 모터를 가린 경우에는 6.6점, 절연만 한 경우에는 5.2점, 그리고 모터를 가리고 절연을 한 경우에는 7.6점으로 구해졌다. Fig. 6.2에서 절연을 한 경우가 흡음체로 가린 경우보다 음압이 낮아졌지만 SQI로 평가한 경우에는 흡음체로 가린 경우가 더 좋은 점수를 얻었다. 이는 단순히 음압이 낮아진다고 해서 음질이 좋아지는

Table 6.1 SQI level of roller blind in 4 conditions

	기본상태	흡음체	절연	흡음체+절연
SQI	4.4	6.6	5.2	7.6



Fig. 6.1 Contribution analysis of roller blind

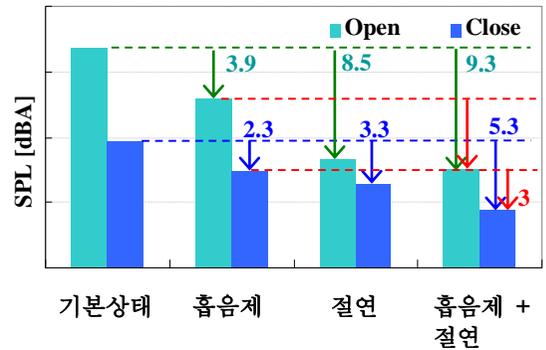


Fig. 6.2 Result of contribution analysis of roller blind

것이 아님을 보여준다. 하지만 흡음체로 처리한 경우가 실차 상태와 가장 흡사하다는 것을 고려해 봤을 때 롤러 블라인드의 음질을 개선하기 위해서는 모터 체결부에 리버부쉬 적용과 같은 진동 절연이 효과적이다.

7. 결 론

본 연구에서는 주관적 음질 평가 방법과 회귀 분석을 통해 롤러 블라인드의 음질을 평가해봄으로써 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 롤러 블라인드의 작동음은 짧은 시작과 끝 충격음 그리고 이송음으로 이루어져 있고 이송음은 특정 주파수에서 토널 성분을 갖는다.

(2) 주관적 음질 평가와 쓰비커 음질 인자를 이

용하고 회귀식을 구성해본 평가자들은 소리가 작고 소리의 날카로움이 떨어지는 롤러 블라인드 소리를 선호하였다.

(3) 롤러 블라인드의 모터 토널음은 구조에 의해 대부분이 전달되며 음질 개선을 위해서는 러버부쉬 적용 등과 같은 진동 절연을 해야한다.

(4) 본 연구에서는 고급감에 국한했지만 이 연구를 바탕으로 차후 다양한 감성 어휘에 대한 평가를 수행한다면 감성적 만족도 또는 선호도에 해당하는 포괄적인 음질 지수를 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

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

참 고 문 헌

(1) Gabriella Cerrato Jay, 2007, Sound/Vibration Quality Engineering Part 1 – Introduction and the SVQ Engineering Process, Sound and Vibration

(2) Hugo Fastl, 2005, Psychoacoustics and Sound Quality, Communication Acoustics, Blauert, J. pp.139~160

(3) Mikael Nybacka, Xuxin He, Zhicheng Su, Lars Drugge, Egbert Bakker, 2013, Links Between Subjective Assessments and Objective Metrics for Steering and Driver Rating Evaluation, International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks

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