

차량용 전동 롤러 블라인드의 고급감 음질지수 개발

Luxuriousness Sound Quality Index Development of Electrically Powered Roller Blind

성 원 찬*·조 현 호*·강 연 준†·김 성 현**·박 동 철**

Weonchan Sung, Hyeonho Jo, Yeon June Kang, Seonghyeon Kim and Dongchul Park

(Received March 12, 2015 ; Revised May 6, 2015 ; Accepted May 6, 2015)

Key Words : Psychoacoustics(심리음향학), Sound Quality(음질), Subjective Evaluation(주관적 음질 평가), Roller Blind(롤러 블라인드), Sound Quality Index(음질 지수), Multiple Linear Regression Analysis(다중 선형 회귀 분석)

ABSTRACT

Sounds of electrically powered vehicle components such as window lift system, roller blind, etc., are required to be more comfortable and not to irritate the people emotionally. In this paper, a study was conducted to identify the significant sound quality metric and compose the luxuriousness sound quality index of electrically powered vehicle roller blind which is part of vehicle sunroof system. Before conducting 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. Multiple linear regression analysis was carried out by chosen Zwicker's metrics which are pointed by comments of jurors. Loudness and sharpness related metrics are prime metrics in luxuriousness sound quality index we composed. Also, 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 추구하는 과거와는 달리 보다 큰 만족감을 줄 수 있는 고급화된 제품을 선호한다⁽¹⁾. 자동차 산업에서의 선호도 또한 이러한 소비 행태와 유사한 동향을 보이고 있고 차량의 고급화를 위해서 차량 NVH(noise, vibration and

harshness) 기술 연구가 활발히 진행되어 차량의 소음, 진동 레벨은 과거에 비해 상당히 저감되었다⁽²⁾. 하지만 소비자들은 단순히 조용한 자동차를 넘어 감성적으로 만족스러운 자동차의 소리를 추구하게 되었고 이에 따라 심리음향학(psychoacoustics)을 기반으로 하는 음질(sound quality) 연구 및 음질 지수(sound quality index) 개발 연구가 진행되고 있다^(3,4). 차량의 엔진음, 차실 내 부밍음, 경적음 등 파워트레인 및 여러 부품의 음질 지수 개발 연구가 진행되

† Corresponding Author ; Member, School of Mech. And Aero. Eng., Seoul National University
E-mail : yeonjune@snu.ac.kr
Tel : +82-2-880-1691, Fax : +82-2-888-5950

* Member, School of Mech. And Aero. Eng., Seoul National University

** Member, Hyundai Motor Company

‡ Recommended by Editor Il Kwon Oh

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

어왔다⁽⁵⁻⁷⁾.

센터럴 도어 래치(central door latch), 윈도우 리프트(window lift), 사이드 미러(side mirror), 선루프 시스템(sunroof system) 등 차량의 고급화에 따라 자연스럽게 모터를 이용해 구동하는 부품들이 많아졌다. 차량의 전체적인 음압 레벨이 낮아짐에 따라 전동 모터를 이용한 부품들의 소리가 잘 들리게 되고 차량 전체의 음질 향상을 위해서는 이 부품들의 음질 연구는 필수적이다. 이 연구에서는 차량의 선루프 시스템의 일부인 전동 롤러 블라인드(roller blind)의 고급감 음질 인자를 개발하였다. 이 논문에서 사용되는 ‘고급감’이라는 용어는 사람들이 고급 세단을 탈 때 고급 차량의 수준에 맞게 기대할 수 있는 소리를 나타낸다.

차량의 선루프 시스템은 롤러 블라인드(roller blind)와 루프 글래스(roof glass)로 이루어져 있고 일반적인 파노라마 선루프 시스템은 Fig. 1과 같은 형상이다⁽⁹⁾. 루프 글래스는 차 외부와 연결되는 부분이고 롤러 블라인드는 루프 글래스와 차실 사이에서 루프 글래스를 통해 빛이 실내로 들어오는 것을 막아주는 부분이다. 차량 선루프 시스템은 선루프 시스템의 버페팅(buffeting) 소리를 해석 소프트웨어를 이용하여 해석하고 실험 결과와 비교하는 방법의 연구가 선행되었다⁽⁸⁾. 전동 롤러 블라인드의 고급감 음질 지수 개발에 관한 연구는 선행된 바가 없다.

이 연구에서는 전동 롤러 블라인드의 작동음 특성 분석 및 고급감 음질 지수를 개발하고 소음원을 분석하여 고급감 음질 향상을 위한 개선안을 제시하였다. 먼저 롤러 블라인드 작동음 특성을 분석하고 주관적 음질 평가(subjective evaluation)와 객관적 인자 분석을 통해서 음질 지수를 개발하였다. 또한

단품 상태와 실차에 장착된 상태의 롤러 블라인드의 상관관계를 분석하여 단품 상태에서 실험한 결과의 타당성을 확보하였다. 다음에 롤러 블라인드 소음원을 분석하고 음질을 개선할 수 있는 방안을 제시하였다. 마지막으로 개발한 음질 인자에 개선된 부품을 적용하여 음질 관점에서의 개선 정도를 확인하고 고급감 음질 인자의 실효성을 평가하였다.

2. 롤러 블라인드 소음 특성

Fig. 2와 같이 롤러 블라인드 단품 작동음은 롤러 블라인드가 열릴 때와 닫힐 때 기계적으로 발생하는 충격음과 그 사이에 롤러 블라인드가 이송하면서 발생하는 변조 특성의 이송음으로 이루어져 있다. 모델별로 차이는 있지만 충격음은 0.5초 이내로 발생하고 이송음은 4~5초 정도로 충격음 보다 길게 발생한다. 선루프 시스템의 루프 글래스는 충격음과 이송음의 음압 레벨 차이가 15 dB 이상 나타나지만 롤러 블라인드의 경우에는 음압 레벨 차이가 5 dB 내외로 나타난다. 주관적 음질 평가를 실행함에 앞서 평가자들에게 사전 평가를 한 결과 롤러 블라인드의 음질은 소리의 발생 시간이 짧고 이송음과의 음압 레벨 차이가 낮은 충격음보다는 소리의 발생 시간이 길고 변조 특성이 있는 이송음이 결정함을 알 수 있었다. 따라서 이 논문에서는 롤러 블라인드의 고급감 음질을 평가함에 있어 충격음이 아닌 이송음을 대상으로 고급감 음질 지수를 개발하였다. 이 연구에 사용한 롤러 블라인드의 이송음은 Fig. 3과 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 649 Hz에서 다른 주파수의 음압과 15 dB 이상 차이가 나타나는 토널



Fig. 1 Picture of sunroof system

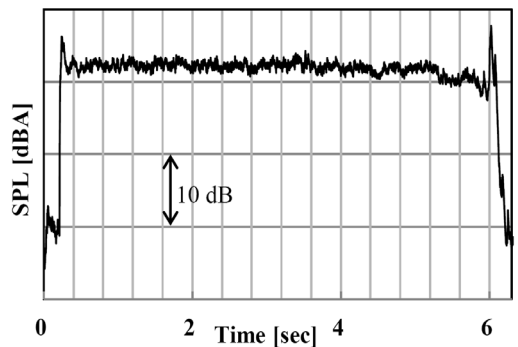


Fig. 2 SPL of operating sound

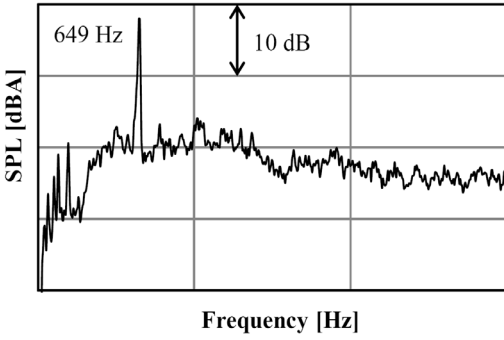


Fig. 3 FFT of operating sound

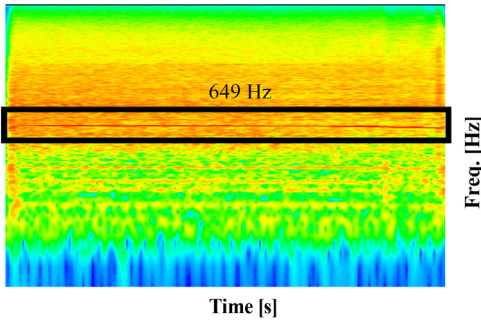


Fig. 4 Waterfall of roller blind

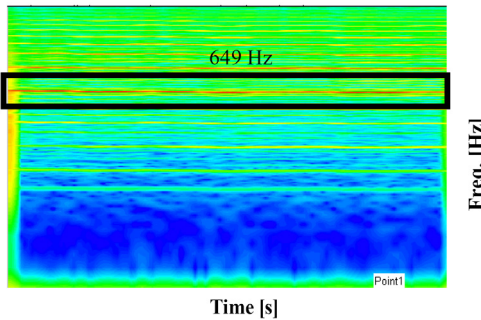


Fig. 5 Voltage applied to roller blind motor

음이 발생한다. 발생하는 토널음의 주파수와 Fig. 5에 나타나는 모터 인가 전압이 일치하는 것으로 보아 특정 주파수의 토널음은 모터에 의해 발생한다는 것을 알 수 있다.

3. 음원 녹음 및 주관적 음질 평가

3.1 음원 녹음

롤러 블라인드의 주관적 음질 평가를 위한 음원

은 6차종으로 다양한 배기량의 차종으로 차량 실내에서 녹음하였다. 사람 귀의 특성과 유사한 효과를 적용하기 위해서 HEAD acoustics사의 SQuadriga를 사용하여 바이너럴(binaural)로 녹음하였다. 녹음 시 외부 소음의 유입을 방지하고자 차단주파수(cut-off) 80 Hz인 반무향실에서 측정하였다.

3.2 주관적 음질 평가

주관적 음질 평가는 청력 손실이 없는 25세에서 35세(평균 28세) 사이의 남성 14명을 대상으로 HEAD acoustics사의 PEQ V와 고성능 헤드폰을 사용하여 반무향실에서 시행하였다. 평가자는 사전에 충분히 훈련된 차량 NVH 전공 대학원생 8명과 청음평가 경험이 없는 비공학 전공자 6명으로 구성되어 있었다. 평가자들 사이에 초보자가 포함되어 있는 것을 고려하여 초보자들이 평가해도 비교적 오차가 작은 레이팅 척도법(rating scale)⁽¹⁰⁾을 이용하여 평가하였다. 레이팅 척도법은 평가자가 음원의 샘플들을 듣고 각각의 샘플에 대해서 한 가지 단어에 대한 기준을 갖고 독립적으로 점수를 부여하는 방법이다. 많은 레이팅 척도법에서 7점 평가법을 사용하지만 산업계에서 자주 사용하는 차량의 감성 평가법과 점수 비교의 용이성을 위해 “고급스러움”이라는 어휘에 대해 10점 평가법으로 평가하였다. 평가자들은 6개의 음원의 소리를 무작위의 순서로 횟수의 제한 없이 들으며 0점부터 10점 사이의 점수를 부여했고, 고급스러운 소리일수록 점수는 10점에 가까워진다. 음질 평가 지수 개발에 필요한 인자 선정을 위하여 “고급스러움”을 판단하는 기준도 평가 중에 조사하였다. “고급스러움”의 판단 기준을 조사함에 있어 미리 선택한 단어군은 주어지지 않고 개인이 샘플 소리에 대해 판단하는 기준을 주관적으로 조사하였다.

주관적 음질 평가에서 흔히 발생할 수 있는 오차들을 줄이기 위해서 평가 전 롤러 블라인드 소리의 특성을 충분히 숙지시킨 후 평가하였다. 전체 평가자들 대비 선호하는 소리의 취향이 특이한 참가자의 결과는 이상점(outlier)으로 분류하여 배제하였다. 또한, 평가자들의 점수의 부여 범위가 다르지만 이상점을 제외한 평가 점수의 평균과 각 평가자들의 상관관계가 전체적으로 90%를 선회하는 것으로 보아 평가자들이 일관성을 갖고 평가

Table 1 Zwicker's metrics selected by subjective expressions

Subjective expression	Engineering expression	Selected metrics	Correlations
'Too loud', 'Quite sound'	Loudness related	L_1 L_2	-82.9 % -94.9 %
'Sound like prod ear', 'Sharp sound'	Sharpness related	S_1 S_2 S_3 S_4	-64.1 % 63.1 % -28.2 % -35.3 %
'Soft sound', 'Rough sound'	Roughness related	R_1	-87.9 %
'swinging sound', 'uniform sound'	Modulation related	M_1	-64.4 %

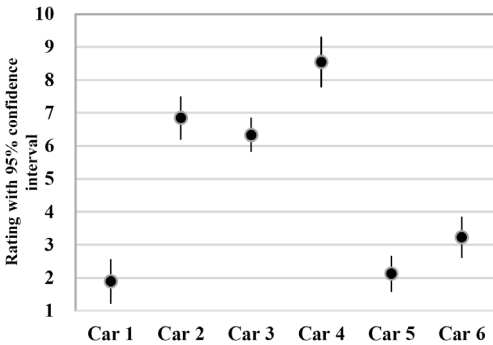


Fig. 6 Result of luxuriousness sound subjective evaluation

한 것으로 판단할 수 있다. Fig. 6은 평가 결과와 95 % 신뢰 구간을 나타낸다.

4. 음질 지수 개발

4.1 음질 요소 분석

롤러 블라인드의 고급감 음질 지수를 개발하기 위해서 주관적 음질 평가 결과와 평가자들의 선호도를 평가하는 기준을 공학적으로 표현할 수 있도록 선정된 객관적 인자 사이의 관계를 분석하였다.

객관적 인자 분석은 HEAD acoustics사의 Artemis 소프트웨어를 이용하였다. Table 1에 평가자들의 인터뷰를 통하여 알아낸 주관적인 표현들을 소리의 크기, 날카로움, 부드러움 등에 따라서 분류하였다. 또한 그에 상응하는 공학적인 표현과 그에 따른 썬비커(Zwicker) 인자를 나타냈다⁽⁴⁾. 라우드니스(loudness) 관련 인자 2개(L_1, L_2), 샤프니스(sharpness) 관련 인자 4개($S_1 \sim S_4$), 러프니스(roughness) 관련 인자 1개(R_1), 모듈레이션(modulation) 관련 인자 1개(M_1)를 선정

하였다. 6개의 롤러 블라인드 소리 샘플에 대하여 썬비커 인자의 값을 다 구할 수 있고 이와 주관적 음질 평가 결과와의 상관관계 또한 Table 1에 표시하였다. 그 중에 소리의 크기에 관련된 인자와 부드러움에 관련된 인자가 주관적 평가 결과와의 상관관계가 높다.

4.2 음질 지수 개발

음질 지수를 개발하기 위해 선정된 음질 인자와 주관적 평가결과를 다중 선형 회귀 분석(multiple linear regression)을 이용하였다. 다중 선형 회귀 분석은 식 (1)과 같은 형태로 표현할 수 있다⁽¹¹⁾.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots, R^2 \tag{1}$$

여기서 y_i 는 주관적 음질 평가 결과 값을 나타내고 x_{1i} 등의 값은 주관적 음질 평가 결과에 영향을 주는 음질 인자를 나타낸다. 또한, β 등의 값은 각 음질 인자의 계수를 나타낸다. R^2 값은 회귀식의 적합성을 나타내고 통상적으로 70 % 이상이면 공학적으로 적합하다고 판단한다.

Table 1에서 선정한 8개의 썬비커 인자와 주관적 음질평가 결과를 범용 통계 프로그램인 Minitab의 단계적 회귀 분석(stepwise linear regression)을 이용하여 식 (2)와 같은 회귀식을 구성했다.

$$SQI_{RB} = 27.21 - 1.26L_2 - 4.10S_1 \tag{2}$$

라우드니스 관련 인자인 L_2 와 샤프니스 관련 인자인 S_1 이 작을수록 평가자들의 롤러 블라인드의 소리가 고급스럽다고 평가했다. Table 2에 롤러 블라인드의 회귀 모델에 대한 통계값들을 나타냈다.

Table 2 Regression model statistics

	SE coefficient	P-value	R^2 (adj)
SQI		0.005	95.3 %
L_2	0.163	0.005	
S_1	1.49	0.071	

R^2 값이 70%인 것으로 보아 제작한 회귀식은 공학적으로 적합하다고 판단할 수 있다. P-value는 귀무가설이 참일경우 구한 검정통계량보다 더 극단적인 결과가 나올 수 있는 확률을 나타낸다. 또한, SE coefficient는 회귀 분석을 통해서 얻어낸 두 가지 음질 인자의 표준 오차를 나타낸다. SE coefficient가 낮은 L_2 의 회귀식 인자가 회귀식에서 더 정밀하다는 것을 알 수 있다.

5. 단품과 실차의 상관관계 분석

롤러 블라인드의 단품을 실차에 장착했을 때 작동음의 특성이 극명하게 달라진다면 단품 상태의 롤러 블라인드에서 개선안을 도출하는 것이 무의미하게 된다. 따라서 단품을 실차에 장착한 경우의 작동음 특성 또한 분석해서 단품과 실차의 상관관계를 분석해야 한다. Fig. 7에 롤러 블라인드 이송음 단품과 실차 작동음의 주파수 특성을 나타냈다. 단품과 비교해서 실차에서의 전체적인 음압 레벨은 높아지지만 이는 차실 내부의 영향으로 높아진 것으로 판단된다. 하지만 고급감 음질 평가에 가장 중요한 요소인 토널음이 단품을 실차에 장착한 상태에서도 나타나기 때문에 고급감 음질 평가에 영향을 미치는 작동음 특성이 크게 바뀌지 않는다. 따라서 롤러 블라인드 단품의 이송음을 개선하면 실차 상태의 이송음 또한 개선될 것으로 예상된다.

6. 개선안 도출 및 검증

롤러 블라인드 이송음의 주 소음원을 알기 위해서 Fig. 8과 같이 반무향실에 롤러 블라인드 단품을 리그에 설치하고 여러 가지 조건에서 음압을 측정하였다. 모터에서 발생하는 토널음이 직접 방사하는 공기기인 소음과 진동을 통해 발생하는 구조기인

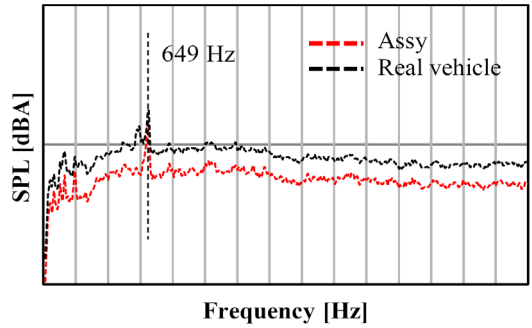


Fig. 7 FRFs of roller blind assy and real vehicle

Table 3 SQI_{RB} of roller blind in 4 conditions

	I.C.	Absorbing material	Vibration isolation	Both
SQI _{RB}	4.4	6.6	5.2	7.6

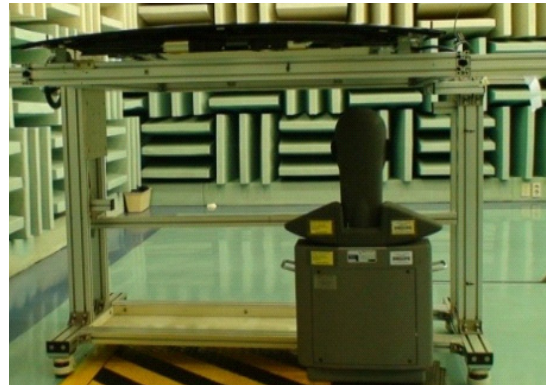


Fig. 8 Roller blind assy test rig for noise source analysis

소음의 영향도를 평가하였다. 모터 부분을 흡음재로 차단하여 공기기인 소음의 영향을 확인하고 모터의 체결부를 분리하여 진동을 차단하고 구조기인 소음의 영향도를 평가하였다. 그리고 흡음재로 차단하고 브라켓을 분리한 경우도 음압을 측정해서 비교했다.

Fig. 9에 4가지 조건에서 음압을 측정한 결과를 나타냈다. 흡음재로 모터를 차단하여 방사 소음을 감소시킬 때보다 모터의 체결부를 분리하여 진동 소음을 감소시킨 경우의 음압이 더 크게 감소한다. 흡음재만 사용한 경우보다 흡음재와 동시에 모터 체

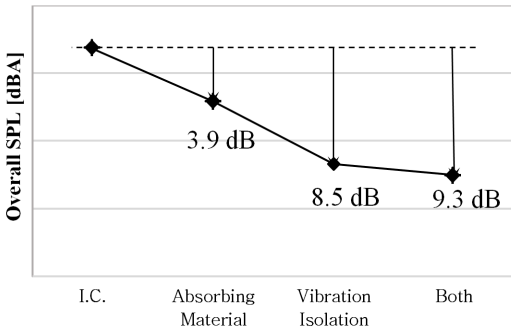


Fig. 9 Roller blind overall SPL of 4 conditions

결부를 분리한 경우의 음압이 더 크게 감소함을 알 수 있다. 이런 결과들을 종합하면 롤러 블라인드의 소음은 공기기인 소음의 영향도 있지만 모터 체결부를 통해 진동이 전달되는 구조기인 소음의 영향이 더 크다고 판단할 수 있다.

앞서 시행한 실험에서 음압의 감소를 확인할 수는 있지만 음압의 감소가 고급감 음질의 향상과 직결되지는 않는다. 따라서 앞서 4장에서 제작한 고급감 음질 평가 지수에 적용해서 평가해야 한다. 4가지 조건에서의 L_2 , S_1 인자의 값을 구하고 구성된 회귀식에 대입한 결과를 Table 3에 표시하였다. 기본 상태에서는 4.4점 흡음재로 모터의 방사 소음을 차단한 경우에는 6.6점, 모터 체결부를 분리한 경우는 5.2점, 그리고 흡음재와 모터 체결부 분리 두 가지를 모두 시행한 경우는 7.6점으로 고급감 음질 지수값이 구해졌다. 기여도가 높은 소음은 구조기인 소음이지만 음질 향상을 위해서는 모터에서 직접 발생하는 공기기인 소음을 개선하는 것이 더 중요함을 알 수 있다. 이 결과는 롤러 블라인드의 음압평가만으로 얻을 수 없는 결과로 고급감 음질 지수 개발의 기여도를 평가할 수 있다.

7. 결 론

이 연구에서는 주관적 음질 평가 방법과 다중 선형 회귀 분석을 통해 롤러 블라인드의 고급감 음질을 평가해봄으로써 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 롤러 블라인드의 작동음은 짧은 시작과 끝 충격음 그리고 이송음으로 이루어져 있고 이송음은 특

정 주파수에서 토널 성분을 갖는다.

(2) 주관적 음질 평가와 쓰비커 음질 인자를 이용해서 회귀식을 구성해본 결과 평가자들은 소리가 작고 날카로움이 떨어지는 롤러 블라인드 소리를 더 고급스럽다고 평가했다.

(3) 롤러 블라인드의 소리는 모터 체결부를 통해 진동으로 전달되는 소음이 직접 방사되는 소음보다 주된 소음원이지만 제작한 고급감 음질 지수를 통해 평가해본 결과 직접 방사되는 토널음을 차단할수록 고급감은 향상되었다.

후 기

이 연구는 현대자동차(주)와 한국연구재단(BK 21 사업)의 지원으로 이루어 졌습니다(과제번호 0591-20120010).

References

- (1) Lee, S. M. and Choi, S. S., 2001, High Quality Trend of Consumption Market and Counter Actions of Companies, Samsung Economic Research Institute.
- (2) Jung, S. G. and Park, D. C., 2008, R&D Trend for Vehicle NVH Reduction Technology, Auto Journal, Vol. 30, No. 2, pp. 20~27.
- (3) Gabriella, C. J., 2007, Sound/Vibration Quality Engineering: Part 1 - Introduction and the SVQ Engineering Process, Sound and Vibration/April 2007, pp. 2~9.
- (4) Fastl, H. and Zwicker, E., 2006, Psychoacoustics : Facts and Models, Springer, Berlin.
- (5) Gonzalez, A., Ferrer, M., De Diege, M., Pinero, G. and Garcia-Bonito, J. J., 2003, Sound Quality of Low-frequency and Car Engine Noises After Active Noise Control, Journal of Sound and Vibration, Vol. 263, No. 3, pp. 663~679.
- (6) Lee, S. G., Chae, H. C., Park, D. C. and Jeong, S. G., 2003, Booming Index Development of Interior Sound Quality on a Passenger Car Using Artificial Neural Network, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 445~451.
- (7) Shin, T. J., Lee, S. K., Kang, H. S., Jeong, K.

W. and Park, D. C., 2014, Development and Design of Sound Quality for High Quality Car Horn, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference 2014, pp. 55~56.

(8) Lee, D. G., Park, I. K. and Lim, J. Y., 2013, Sunroof Buffeting Simulation of a Simplified Car Model using PAM-FLOW, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 198~204.

(9) <http://pricinginsider.carsdirect.com/wp-content/uploads/2012/06/2013-elantra-gt-pricing-price-specs-pics-interior-panoramic-sunroof-detail.jpg>

(10) Bech, S., 1987, Planning of a Listening Test - Choise of Rating Scale and Test Procedure, Symp. On Preception of Reproduced Sound, Denmark.

(11) Tranmer, M. and Elliot, M., 2008, Multiple Linear Regression, The Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research (CCSR).



Weonchan Sung received B.S. degree in department of Mech. Eng. in Hanyang University, Korea. He also received M.S. degree at School of Mech. And Aero. Eng., Seoul National Univ, Korea. His research areas are Sound Quality of industrial products.



Yeon June Kang is a professor at School of Mech. And Aero. Eng., Seoul National Univ. He received his B.S., M.S. degree from Seoul National Univ. and Ph.D. for acoustics from the Purdue Univ. His research interests are acoustical materials, automotive NVH and sound quality of Korean bell.