

제진재의 최적배치를 이용한 차량공조시스템의 음질평가

Sound Quality Evaluation for the Vehicle HVAC System Using Optimum Layout of Damping material

황동건*·아미누딘 빈 아부*·이정윤**·오재응***·유동호****

Dongkun Hwang, Aminudin bin Abu, Jung-Youn Lee, Jae-Eung Oh and Dong-Ho Yoo

Key Words : HVAC(공조시스템) Psychoacoustics(심리음향) Sound Quality(음질평가) Regression analysis(회귀분석)
Damping material(제진재), Taguchi method(다구찌법)

ABSTRACT

The reduction of the Vehicle interior noise has been the main interest of NVH engineers. The driver's perception on the vehicle noise is affected largely by psychoacoustic characteristic of the noise as well as the SPL. In particular, the HVAC sound among the vehicle interior noise has been reflected sensitively in the side of psychology. In previous study, we have developed to verify identification of source for the vehicle HVAC system through multiple-dimensional spectral analysis. Also we carried out objective assessments on the vehicle HVAC noises and subjective assessments have been already performed with 30 subjects. In this study, the linear regression models were obtained for the subjective evaluation and the sound quality metrics. The regression procedure also allows you to produce diagnostic statistics to evaluate the regression estimates including appropriation and accuracy. Appropriation of regression model is necessary to R^2 value and F-value. And testing for regression model is necessary to Independence, Homoscedesticity and Normality. Also we selected optimum layout of damping material using Taguchi method. As a result of application, sound quality is improved by more quiet, powerful, expensive, smooth.

1. 서론

최근까지 자동차의 실내의 소음에 관한 연구는 저감방법에 초점을 맞추어 진행되어왔다. 그러나 사람의 청감 기능의 복잡성으로 인하여 많은 비용을 지불한 저감 방법이 승객에게 큰 효과를 주지 못할 뿐만 아니라, 차량 주소음의 저감에 따라 지금까지 마스킹된 2 차 소음이 부각되고 있는 실정이다. 경우에 따라서는 낮은 음압에도 불구하고 낮은 음압이 항상 좋은 느낌을 주지 못한다는 것이다. 최근 자동차 실내 소음의 경우 소음 저감 기술 개발로 인해 엔진, 타이어 소음 등에 마스킹되었던 2 차 소음 특히, 차량 공조 소음이 운전자의 인식 레벨로 포함되었다.

차량 공조 소음은 전체 소음 레벨에 비해 크지 않으나 운전자의 감정을 날카롭게 하거나 불쾌하게 만드는 등 주관적 인지에 많은 영향을 주고 있다. 이에 따라 최근에는 자동차 개발 엔지니어는 소음 저감뿐만 아니라 좋은 음질 개발이라는 새로운 목표를 추구하고 있다. 소리에 대한 여러 가지

느낌을 객관적으로 표현한 많은 파라메타들이 개발되었고, 대표적인 적인 값이 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness) 등이다. 소음에 대한 여러 가지 느낌을 표현할 수 있는 방법으로 주관적인 느낌을 점수로 표현하게 되었고, 통계학적인 방법을 통해 공학적 함수로 표현이 필요하다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾

다차원 해석법 및 음향인텐시티 실험 결과 블로워의 기여도가 가장 크다.⁽⁵⁾ 얻어진 결과를 통하여 소음을 제어하기 위해 제진재를 이용하며, 또한 제진재의 효과적인 사용을 위해 다구찌법(Taguchi method)을 이용하여 제진재의 최적위치를 선정할 필요가 있다.

본 연구에서는 차량공조시스템(HVAC)의 소음을 획득하여 객관적 음질 평가와 주관적 음질 평가를 통해 얻은 결과를 바탕으로 적합성 및 정확성을 검증하여 회귀모형을 추정하며, 또한 다구찌법을 이용하여 제진재의 최적위치를 선정하여 음질의 향상 여부를 검증한다.

2. 회귀분석

2.1 회귀모형의 적합성

본 연구에서는 음질 평가를 통하여 얻은 데이터를 이용하여 현재 차량공조시스템의 회귀모형을 추정하고자 한다.

상관분석(correlation analysis)은 둘 또는 그

* 한양대학교 대학원 자동차공학과
E-mail : hwangdk78@yahoo.co.kr
Tel : (02) 2290-0452, Fax : (02) 2299-3153

** 경기대학교 기계시스템디자인공학부

*** 한양대학교 기계공학부

**** 현대모비스 응용기술연구부

이상의 변수들 사이의 관계를 규명하기 위해서 산점도(scatter plot)를 작성해 봄으로써 두 변수 사이의 관계를 시각적으로 대략 파악할 수 있지만, 산점도로부터 파악할 수 있는 관계는 객관성과 일관성이 부족하다.

회귀분석(regression analysis)은 두 변수 사이의 관계를 좀 더 객관적이고 일관성을 갖도록 수리적 파악하는 방법 요구된다. 즉, 종속변수 독립변수로 구분하는 것이 회귀분석이다.

회귀모형은 F-값과 결정계수(coefficient of determination)를 통해 설정된 모형이 얼마나 적합한지를 판단할 수 있다. F-검정은 분산분석의 F-값이 기각치보다 크게 되거나 유의차 수준(significant difference, 5%의 유의수준인)이 0.05 보다 작을 시 귀무가설이 기각된다. 즉, 평균 값들은 유의적으로 다르고, 우리는 효과가 실제로 있다고 판단한다. R-square 은 결정계수로서 1 에 가까울수록 추정된 회귀선 주위에 데이터가 밀집되어 있다.

객관적 음질 평가와 주관적 음질 평가 사이에 상관분석 결과는 Table 1 과 같다. 0.7 이상의 높은 상관관계를 가진다. 그러나 상관분석에서 이들 변수들간의 단순한 선형성의 여부를 확인하였다. 보다 객관적이고 일관성을 갖는 함수로 표현하기 위해 회귀분석이 필요하다.

회귀모형의 적합성을 판단하기 위해 유의차 수준과 R-square 를 통해 검증하였다. Table 2 의 결과로부터 5 개 회귀모형 모두 유의차 수준이 0.05 보다 작으며, R-square 또한 0.65 이상의 값을 가지기 때문에 추정된 회귀모형은 적합한 것으로 판단된다.

Table 1 The coefficient of correlation between sound metrics and subjective rating

	L	S	R	P	E
Coefficient of correlation	0.761	0.888	0.715	0.766	0.899

* L : 조용한-시끄러운, S: 부드러운-날카로운,
R: 매끄러운-거친, P: 성능 좋은-성능 나쁜
E: 고급스런-값 싼

Table 2 Regression procedure: ANOVA and R-square

	L	S	R	P	E
F-value	13.70	10.46	37.19	9.59	20.01
Significant difference(Sig.)	0.004	0.009	0.001	0.011	0.012
R-square	0.678	0.788	0.711	0.689	0.667

2.2 회귀모형의 정확성

설정된 모형을 보다 정확하게 판단하기 위해서는 선형회귀분석 모형의 독립성(Independence), 등분산성(Homoscedesticity), 정규성(Normality)의 가정들을 반드시 검증해야 한다. 독립성은 Durbin-Waston 계수는 1 부터 4 까지의 값을 가지며, 2 에 가까울수록 오차들끼리 서로 독립임을 의미한다. 정규성은 잔차에 대한 정규 확률도를 작성하여 직선의 형태로 표현되는지를 시각적으로 판단한다. 등분산성은 잔차들이 0 을 중심으로 랜덤하게 분포하면 오차항의 등분산성에 대한 가정을 만족하게 된다.

회귀모형은 음질요소에 해당하는 3 가지 용어와 자동차 음질평가용어를 바탕으로 한 공조시스템을 대표할 수 있는 용어 2 가지를 추가하여 5 개의 용어에 대해 주관적인 평가를 하였다. 5 개의 평가 용어는 "조용한(1 점)-시끄러운(7 점)", "부드러운(1 점)-날카로운(7 점)", "매끄러운(1 점)-거친(7 점)", "성능 좋은(1 점)-성능 나쁜(7 점)", "고급스런(1 점)-값싼(7 점)"이다. Table 3 은 차량공조 시스템의 에어컨 내기 4 단의 음질요소해석 결과이다.

Table 4 는 오차항의 독립성을 판단하기 위한 Durbin-Watson 값이다. Durbin-Watson 값이 2 에 가까우므로 오차항들 사이에 무자기상관 즉, 오차들끼리 서로 독립임을 알 수 있다.

Fig. 1 은 등분산성과 정규성을 판단하기 위한 것이다. Fig. 1(a)는 잔차들의 등분산성을 나타낸 것으로 잔차들이 시각적으로 랜덤하게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있어 등분산성을 만족한다. Fig. 1(b)는 정규성으로서, 잔차들이 직선을 중심으로 선형적으로 분포하는 것을 시각적으로 확인할 수 있다. Table 4 와 Fig. 1 을 통해 회귀모형의 정확성을 검증하였다.

Table 3 The Overall value of each sound metrics

	SPL(A) (dB(A))	Loudness (soneGF)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)
Value	50.6	6.29	1.62	0.738

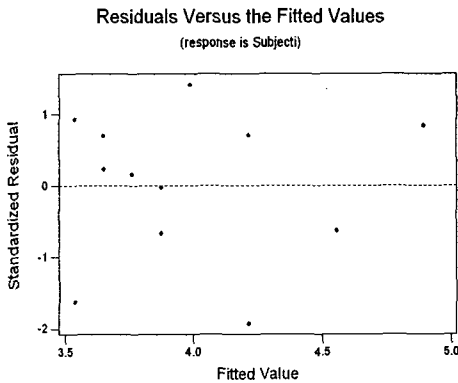
Table 4 Testing for Independence using Durbin-Watson static

	L	S	R	P	E
Durbin - Watson-static	2.42	2.92	2.16	2.03	2.10

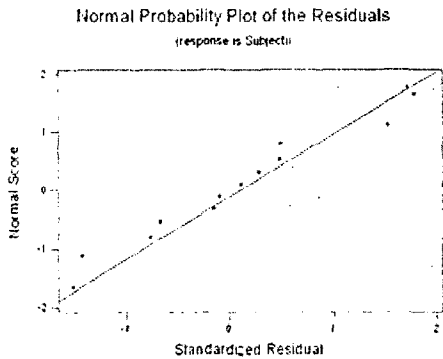
2.3 회귀모형의 추정

회귀모형에 대한 적합성과 정확성을 바탕으로 Table 5 와 같이 회귀모형식을 추정하였다.

Fig. 2 는 5 개의 회귀모형 중 “조용한-시끄러운”의 회귀모형이다. 검은 실선은 회귀식이며, 적색 점선은 95%의 신뢰구간을, 파란 점선은 95%의 예측구간을 의미한다.



(a) Testing for the Homoscedesticity



(b) Testing for the independence

Fig. 1 Testing for regression equation of ‘Loudness-Loud’

Table 5 Estimated regression equation of vocabularies selected by 5 subjects

	Estimated regression model
Loud	$-0.12082 + 0.68827 \times \text{loudness}$
Sharp	$23.2110 - 11.3068 \times \text{sharpness}$
Rough	$3.2717 + 1.58854 \times \text{roughness}$
Powerful	$0.63088 + 0.56437 \times \text{loudness}$
Expensive	$-0.3002 + 0.75845 \times \text{loudness}$

Estimated regression equation of ‘Loud’
 $\text{Subjective} = -0.12082 + 0.68827 * \text{Loudness}$

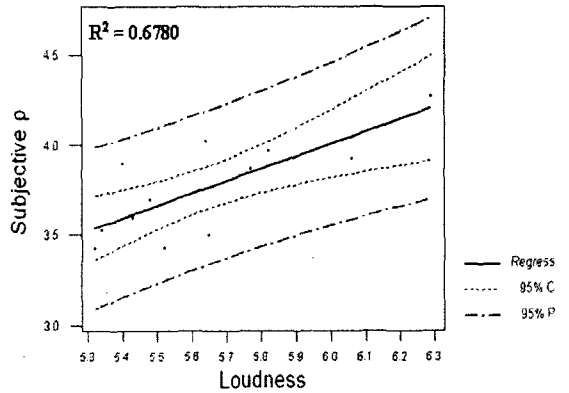


Fig. 2 Estimated regression equation of ‘Loudness-Loud’

3. 다구찌법을 이용한 실험계획

차량공조시스템(HVAC)에 대해 다차원 해석법의 기여도 분석 결과 블로워의 진동기여도 가장 크며, 음향 인텐시티 측정결과에서도 블로워에 주 소음원이 존재하는 것을 확인하였다. 제진재를 통해 블로워의 진동을 제어함으로 소음저감 및 음질 향상이 될 것으로 판단하였다.

제진재의 최적 위치를 선정하기 위해 제진재의 부착 위치 및 길이 등의 변수가 있으며, 이를 검증하기 위해 많은 실험이 필요하다. 효과적으로 실험 횟수 및 개선을 위해 다구찌법으로 실험계획하였다. 소음 측정 시간대를 다르게 하여 3 번의 반복 실험을 통해 노이즈 인자를 고려하였다. HVAC의 작동상태 cool fresh 모드 4 단이다. 블로워의 평면도는 Fig. 3 과 같다.

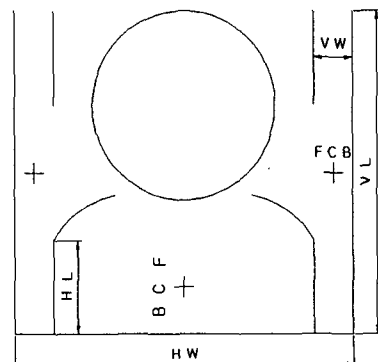


Fig. 3 Sectional diagram of blower

실험은 Table 6 과 같은 6 인자 3 수준의 L_{18} 직교 배열표를 이용하였으며, 교호 작용은 없는 것으로 가정하였다. 6 개의 인자는 Table 7 과 같이 선정하였으며, V(수직위치), H(수평위치), VW(수직너비), VL(수직길이), HW(수평너비), HL(수평길이)이다. V, H 의 수준은 제진재의 부착위치에 따라, VW, VL, HW, HL 의 수준은 제진재의 길이 변화에 따라 3 수준으로 정하였다.

Table 6 Orthogonal array and factors assignment

	V	H	VW	VL	HW	HL
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3
5	2	2	2	3	3	1
6	2	3	3	1	1	2
7	3	1	2	1	1	2
8	3	2	3	2	2	3
9	3	3	1	3	3	1
10	1	1	3	3	3	2
11	1	2	1	1	1	3
12	1	3	2	2	2	1
13	2	1	2	3	3	3
14	2	2	3	1	1	1
15	2	3	1	2	2	2
16	3	1	3	2	2	1
17	3	2	1	3	3	2
18	3	3	2	1	1	3

Table 7 Control factors and their levels

	Level 1	Level 2	Level 3
V	F	C	B
H	F	C	B
VW	1.5	2.0	3.0
VL	12	18	24
HW	10	15	20
HL	4	6	8

4. 제진재의 최적 위치 선정

망소특성의 파라메타 설계를 위해 이미 선정된 제어인자와 노이즈 인자를 바탕으로 SN 비를 구하였으며, Fig. 1 과 같이 주효과(Main effects) 분석 결과를 확인할 수 있다. SN 비의 효과가 큰 인자는 HW, V, HL 순이다. 이를 바탕으로 예상되는 최적조건은 $V_2 H_2 VW_3 VL_3 HW_1 HL_1$ 이다.

최적조건에 의한 확인 실험을 한 결과와 제진재를 사용하지 않은 원래 상태의 HVAC 의 음질 요소해석 결과를 비교하였으며, 결과는 Table 8 과 같다. 음압은 2.2dB(A), 라우드니스는 1.8 soneGF, 러프니스는 0.17asper 감소하였으며, 샤프니스는 0.09acum 증가하였다.

Table 8 의 최적 조건과 원래 상태에서 얻은 음질요소 해석 값을 Table 5 의 회귀모형에 적용하여 주관적 점수를 차이를 Table 9 와 같이 정리하였다. (+)는 주관적 점수가 1 점으로 가는 향상된 것이며, (-)는 7 점으로 가는 악화된 결과를 의미한다. 다구찌법을 이용하여 제진재의 최적 위치를 선정할 결과 소음저감뿐만 아니라 더 조용하고, 부드럽고, 성능 좋고, 고급스런 이미지로 음질이 향상된 것으로 확인된다.

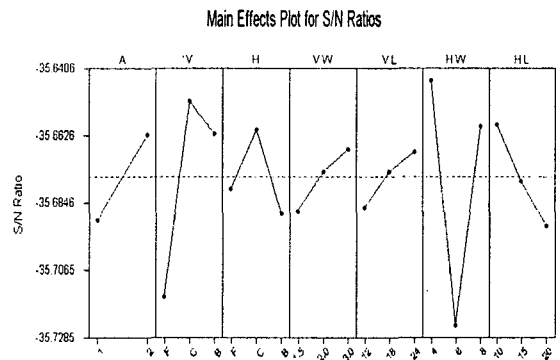


Fig. 4 The main effect plot for S/N ratio of SPL(A)

Table 8 The overall value of SPL and each sound metrics

	Present	Predicted	Difference
SPL(A)	62.0	59.8	2.2
Loudness (soneGF)	17.0	15.2	1.8
Sharpness (acum)	2.69	2.78	0.09
Roughness (asper)	1.98	1.81	0.17

Table 9 Difference of predicted regression before control and after control by damping patch

	Difference	Remark
Loud	1.24	Quiet(1)-Loud(7)
Sharp	-1.02	Soft(1)-Sharp(7)
Rough	0.27	Smooth(1)-Rough(7)
Powerful	1.02	Powerful(1)-Unsatisfactory(7)
Expensive	1.37	Expensive(1)-Cheap(7)

5. 결론

본 연구에서는 차량 공조시스템의 소음원에 대해 주관적 평가와 객관적 평가의 결과를 바탕으로 회귀모형을 추정하였고, 또한 다구찌법을 이용하여 제진재의 최적위치를 선정하여 음질 향상 여부에 관해 결론을 다음과 같이 얻었다.

(1) F-값과 결정계수를 통해 회귀모형의 적합성을 검증하였고, 잔차들의 독립성, 등분산성, 정규성을 통해 회귀모형의 정확성을 검증하였다.

(2) 제진재의 최적위치 선정을 위해 6 인자 3 수준의 L_{18} 직교 배열표를 이용하여 실험을 하였으며, 예상된 최적조건은 $V_2 H_2 VW_3 VL_3 HW_1 HL_1$ 이다. 확인실험결과 음압, 라우드니스, 러프니스는 감소하였다.

(3) 최적조건에 의한 확인실험 결과값을 추정된 회귀모형에 적용한 결과 제진재 부착 이전 보다 더 조용하고, 부드럽고, 성능 좋고, 고급스런, 이미지로 향상되는 결과를 얻었다.

후 기

본 연구는 현대모비스 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다

참고문헌

- (1) E. Zwicker and H. Fastl, 1990, "Psychoacoustics Facts and Models", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 61~267.
- (2) 박동철 등, 2002, "승용차의 음질 개발에 관한 연구", 한국소음진동공학회지, 소음진동공학회, pp. 342~349
- (3) 허덕재 등, 2000, "차량 실내소음의 음질 분석 모델화", 한국소음진동공학회지 제 10 권 제 2 호, 한국소음진동공학회, pp. 254~260.
- (4) 임도형, 1999, "제품의 음질 특성에 관한 연구: 진공청소기에의 적용", 석사학위논문, 한국과학기술원.
- (5) 황동건 등, 2004, "다차원 스펙트럼 해석법을 이용한 자동차 공조시스템의 기여도 분석", 추계학술대회 회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 999~1004.
- (6) Tako Hiromoto, 2001, "Sound Quality Study and its Application to Car Interior and Exterior Noise", Spring Annual Conference, 한국소음진동공학회, pp. 19~26.
- (7) 이해승 등, 2001, "음질 지수를 이용한 자동차 실내 소음의 분석", 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1114~1119.
- (8) 박성현, 2003, "현대 실험계획법", 민영사, 13 장.