

# 실험계획법을 이용한 차량 공조시스템의 음질 특성 분석

오재응#, 윤태건\*, 아미누딘 빈 아부\*, 심현진\*, 이정윤\*\*, 김성수\*\*\*

## Analysis of Subjective Sound Quality Characteristics for the HVAC System using the Design of Experiments

Jae-Eung Oh<sup>#</sup>, Taekun Yun<sup>\*</sup>, Aminudin bin Abu<sup>\*</sup>, Hyun-Jin Sim<sup>\*</sup>, Jung-Youn Lee<sup>\*\*</sup> and Sung-Soo Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Since human listening is very sensitive when the sound hit him, the subjective index of sound quality is required. Therefore, at each situation of sound evaluation its composed with the sound quality factor. But, when substituting the level of one frequency band we could not see the tendency of substitution at whole frequency band during the sound quality evaluation. In this study a design of experiment is used. The frequency domain is divided into an equally 12 parts and each level of domain whether is given increase or decrease due to the change of frequency band based on "sharp" and "annoy" of the sound quality is analyzed. By using the design of experiment the number of test is reduce very effectively by the number of experiment and each band the main effect will be as a solution. The case of sound quality for 'sharp' and 'annoy' at each band, the change of band (increase or decrease of sound pressure or keep maintain) which will be the most effects on the characteristics of sound quality can be identify and this will be able to us to select the objective frequency band. Through these obtained results the physical changes of level at arbitrary frequency domain sensitivity can be adapted.

**Key Words** : Subjective sound quality characteristic(주관적 음질 특성), Design of Experiment(실험계획법), Sharp(날카로움), Annoy(불쾌함)

### 1. 서론

최근 자동차 소음 저감 기술의 발달로 보다 조용한 운전 조건이 마련되었다. 종래 차량은 성능에만 의존하는 기계라는 개념이었으나, 최근 소비자들의 안락하고 쾌적한 환경에 대한 요구가 증가하

며 차량은 단순 기계가 아닌 생활의 문화 공간 매개체로 자리 잡아 가고 있다. 차량 실내에서 음악을 듣거나 핸드프리를 이용하여 통화를 하는 것은 일상이 되었으며 많은 이들이 차량 오디오를 재설치 하는 등 실내 소음에 대한 관심이 나날이 늘어나고 있다. 더욱이 급속한 온라인 문화로 인해 소

접수일: 2005 년 5 월 17 일; 게재승인일: 2005 년 9 월 9 일

# 교신저자: 한양대학교 기계공학부

E-mail jeoh@hanyang.ac.kr Tel. (02) 2220-0452

\* 한양대학교 대학원 자동차공학과

\*\* 경기대학교 기계시스템디자인공학부

\*\*\* 현대모비스 응용기술연구소

수 차량 소음의 불평이 차량 매출 전체에 영향을 끼칠 만큼 차량 소음의 문제는 차량 개발에 있어 고려해야 할 중요한 인자가 되었다.<sup>1</sup>

그러나 소음 기술 개발로 인한 소음 저감은 시끄러운 차량 소음 아래에 마스킹 되었던 차량 공조기 소음과 같은 소음 요소들을 운전자의 인식 레벨로 포함되게 했다. 이 소음들은 전체 소음 레벨은 크지 않으나 운전자의 감정을 날카롭게 하거나 불쾌하게 만드는 주관적 인지에 많은 영향을 주고 있다.

사람이 소리를 듣는 것은 다분히 감성적이고 주관적으로 이루어진다. 특히 날카롭다거나 불쾌함 등의 평가는 소음 측정의 척도로 주로 사용되는 dB(A)와 같은 객관적 수치로 표현하기 어렵기 때문에 시스템에 따라 주관적이고 사람의 감성에 맞는 주관적 척도가 요구된다.<sup>2,3</sup>

소음 스펙트럼의 주파수 특성을 변경하여 차량 소음의 음질 특성을 변경하고 청음평가를 실시하는 연구는 차체 진동 특성 변경, 유동 소음의 특성 변경 등을 통해서 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>4</sup> 그러나 하나의 관심주파수 대역의 레벨을 수정한 소음의 청음평가는 주파수 대역 전체의 경향을 보지 못하는 단점이 있다. 사람에 감성에 의해 음질 특성에 맞는 목적 주파수가 변화할 수 있다는 것을 예측하지 못하고, 소음레벨을 증가 시켰을 경우 예상되는 음질 특성 변경에 대한 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 실험계획법을 이용하여 차량공조기 소음을 측정하고 청음평가를 실시하여 주관적인 음질인자는 날카로움과 불쾌함에 대한 경향을 분석하고 전체 주파수 대역을 12 등분하여 각 대역의 소음 레벨을 증가하거나 감소시키는 변화를 통해 차량공조기의 주관적 음질인 날카로움과 불쾌함의 음질 특성을 분석하고 이를 통해 각 음질 특성에 맞는 목적 주파수 대역을 선정하고자 한다.<sup>5</sup>

## 2. 실험 및 평가

### 2.1 실험의 구성

주관적인 청음평가를 실시하기 위해서는 소음 데이터를 필요로 한다. 주파수 대역을 12 등분하여 각 주파수 대역의 레벨을 증가, 감소 시킬 경우는 무수히 많은 실험이 필요하다. 이를 개선하기 위해

실험계획법을 사용하여 실험횟수를 감소시켜 소음을 변화시켰으며, 변화시킨 소음을 이용하여 30명의 대상자로 청음평가를 실시하였다.

#### 2.1.1 대상 소음

실험에 사용된 차량은 국내 유수의 자동차 회사에서 생산된 대형차이며 소음은 아이들 상태에서 cool mode 중 사용빈도가 가장 많은 단수를 선정하여 녹음하였다. 소음은 크기는 63dB(A)이다.<sup>6</sup>

#### 2.1.2 실험계획법 인자의 구성

청음평가에 사용될 소음을 수정하기 위해 실험계획법을 사용하였고 Table 1 과 같이 인자를 선정하였다.

사람의 청음 대역으로 알려진 24 바크(Bark) 대역을 12 등분한 것으로 두 개의 바크를 하나의 대역으로 재설정하였다.

#### 2.1.3 실험계획법 수준의 구성

소음 제작에 사용된 수준은 실제로 소리 변화를 귀로 구분할 수 있는 최소한의 레벨인 -3dB 로 선정하였다. 이는 많은 연구에서 사용되는 소음저감 목표와 비슷하고 소음의 저감만이 아닌 소음의 증가에 의한 음질 특성을 분석하기 위해 +3dB 를 함께 선정하였다. 선정된 수준은 Table 2 와 같다.

Table 1 Divided by 12 at Bark and frequency

Factor	Bark	frequency	
		lower	upper
A	1, 2	0	200
B	3, 4	200	400
C	5, 6	400	630
D	7, 8	630	920
E	9, 10	920	1270
F	11, 12	1270	1720
G	13, 14	1720	2320
H	15, 16	2320	3150
J	17, 18	3150	4400
K	19, 20	4400	6400
L	21, 22	6400	9500
M	23, 24	9500	15500

Table 2 Control factors and their levels

Level No.	1	2	3
dB	+3dB	0dB	-3dB

Table 3 Orthogonal array and factors assignment

Experiment No.	Factor											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3

2.1.4 소음의 제작 및 직교배열표

12 인자, 3 수준을 완전 배치법을 사용할 경우 5 만번 이상의 실험을 필요로 한다. 이를 효과적으로 개선하기 위해 직교배열표가 사용되었으며 배열은 Table 3 과 같고 인자들 사이의 교호작용은 없는 것으로 가정하였다.<sup>7</sup>

2.2 주관적 청음평가

청음평가는 청력이 이상이 없는 30 명의 남성이 참여하였으며 헤드폰을 사용하여 실시하였다. 평가방법으로는 점수부여법을 사용하였다.<sup>8</sup> 날카롭다는 느끼는 경우와 불쾌하다고 느끼는 두 경우에 대하여 ‘ 매우 그렇다’ 라고 평가될 때 7 점 만점에 7 점, 그 반대의 경우에 1 점을 주도록 하였다. 실험의 순서는 무작위로 진행되었고 원음과 수정음의 주관적 변화의 정확성을 기하기 위해 원음을 4 점 기준으로 설정하여 청음결과를 표기하도록 하였다.<sup>9</sup>

3. 실험 결과

날카로움과 불쾌함에 대하여 청음평가를 실시한 결과에 대하여 각 인자의 수준 변화(주파수 대역의 음압 레벨 변화)에 따라 음질인자의 특성이 어떠한 경향을 분석하기 위해 알아보기 위해 주 효과 분석을 실시하였다. 날카로움과 불쾌함에 대한 평가자의 평균은 Table 4 에 나타내었다.

3.1 날카로움의 주효과 분석

Fig. 1 은 소음 음압 수준에 따른 날카로움에 대한 결과를 나타낸 것으로 평균값(mean value)이 작을수록 좋은 값이다. 저주파 대역(200Hz 미만)에서 1 수준(음압 레벨 증가)과 사람에게 민감하게 작용하는 1000Hz 주변과 고주파 영역인 6000Hz 이상을 3 수준(음압 레벨 저감)의 경우 평균값을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

A(0~200Hz), L(6400~9500Hz), M(9500~ 15500Hz) 대역 순으로 주효과가 높은 것으로 나타났는데 이는 다른 대역을 제어하는 것보다 A, B, C 대역을 제어했을 경우 보다 큰 효과를 볼 수 있다는 결과이다. 특히 차량공조기의 날카로움을 저감시키기 위해서는 0~200Hz 대역의 음압 레벨을 증가시키는 것이 가장 효과적이다.

3.2 불쾌함의 주효과 분석

불쾌함의 주효과는 Fig. 2 와 같은 도출되었다. 날카로움과 마찬가지로 평균값(mean value)이 작을수록 좋은 값이다.

불쾌함의 경우 C(400~630Hz), D(630~920 Hz), F(1270~1720Hz) 그리고 K(4400~6400 Hz) 대역에서 음압 레벨을 증가했으나 이 대역은 주효과가 다른

대역에 비해 순위가 낮게 형성되어 있으며, 전체적으로 음압 레벨을 저감시켰을 경우 평균값을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

A(0~200Hz) 저주파 대역과 L(6400~9500 Hz) 대역의 음압 레벨을 제어할 때 가장 큰 효과를 볼 수 있다.

Table 4 Mean descriptive statistics of 'sharp' and 'annoy'

Experiment No.	Sharp	Annoy	Experiment No.	Sharp	Annoy
1	4.5	5.3	15	3.9	3.5
2	4.6	3.9	16	3.9	3.2
3	3.4	4.0	17	4.5	4.0
4	3.7	4.4	18	4.3	4.1
5	4.4	4.5	19	5.0	5.2
6	3.5	4.2	20	5.0	4.0
7	3.7	4.8	21	4.5	4.4
8	3.1	4.1	22	4.6	4.2
9	4.7	4.6	23	4.3	3.9
10	3.8	4.7	24	4.1	4.0
11	4.0	4.3	25	4.9	3.7
12	4.4	4.4	26	4.5	3.5
13	4.1	3.6	27	5.2	4.5
14	4.2	4.1			

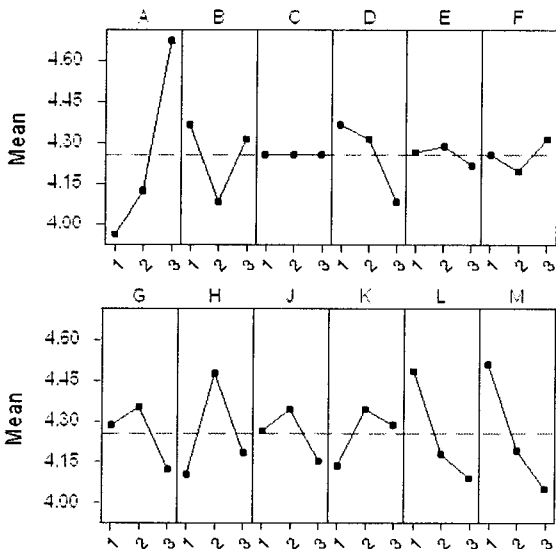


Fig. 1 The main effect for mean of 'Sharp'

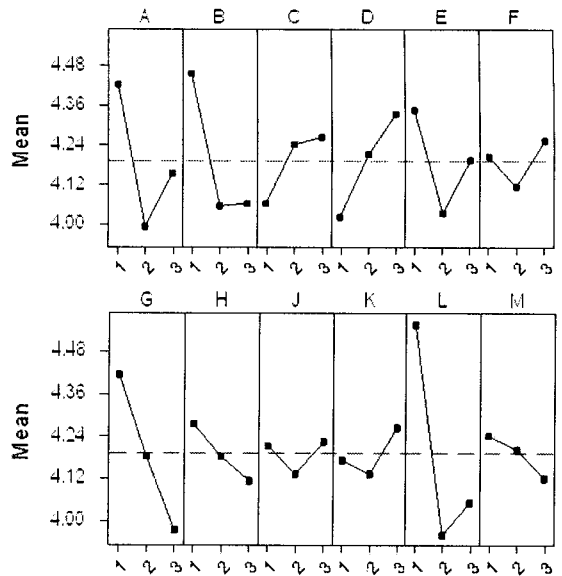


Fig. 2 The main effect for mean of 'Annoy'

### 3.3 음질 특성 분석 결과

날카로움의 경우 사람에게 날카롭게 들리게 하는 중·고주파 대역을 줄이고 상대적으로 저주파 영역의 음압 레벨을 증가시켜 저주파로 고주파를 마스킹하여 날카로움을 줄인 것으로 분석된다.

불쾌함의 경우 전체 대역에 대하여 음압 레벨을 증가시켰을 때 불쾌함이 늘어나 것으로 나타났다. 특히 L(6400~9500Hz)대역의 주효과가 가장 높은 것으로 보아 차량공조기 소음의 불쾌함을 인지하도록 하는 주파수 대역(또는 주파수)이 6400~9500 Hz 안에 있다는 것을 유추할 수 있다.

각 음질 특성에 기인하는 목적 주파수 대역은 날카로움의 경우 0~200Hz, 6400~15500Hz 대역이며, 불쾌함의 경우 0~400Hz, 6400~9500Hz 대역이다. 그러나 날카로움 결과와 불쾌함의 결과가 서로 상충하고 있어 동시에 두 경우 모두 저감시키기 어려우며 상황에 맞는 수준의 선정이 필요할 것으로 보인다.

Table 5 Predicted optimal level of 'sharp' and 'annoy'

Sound Quality	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
Sharp	1	2	2	3	3	2	3	1	3	1	3	3
Annoy	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	2	3

#### 4. 실험의 검증

주효과 분석에 의한 최적의 주파수 대역별 수준의 조합은 Table 5 와 같으며 이에 대하여 실험의 정확도를 검증하기 위해 소음을 각 주파수 대역에 각 수준이 맞도록 수정하고, 같은 평가방법으로 청음평가를 실시하였다.

직교 배열표를 이용하여 청음평가를 실시한 최적값은 날카로움의 경우 실험 No.10 의 3.1 점이며 검증을 위해 실시한 청음평가의 결과는 3.0 이었고, 불쾌함의 경우 전자는 실험 No.16 에서 3.2, 검증 결과 2.8 의 수치가 나와 실험결과가 옳다고 판단할 수 있다.

#### 5. 결론

실험계획법을 이용하여 주파수 대역 음압 레벨 변화에 따른 차량공조기의 날카로움과 불쾌함에 해당하는 음질 특성을 분석하였다. 이는 한정된 주파수 대역의 음압 레벨의 저감(또는 증가)에 의한 음질 특성 분석과는 달리 전체적인 경향을 파악할 수 있어 목적하고자 하는 각 음질인자의 특성에 따라 목적 주파수 대역을 선정할 수 있으며 시스템의 음압 레벨 저감만이 아니라 적절히 음압 레벨을 증가시켜 음질 특성을 변경할 수 있고 특히 고주파 영역에 의해 발생하는 날카로움과 같은 음질 인자를 저주파를 증가 시켜 날카로움을 줄이는 방법으로 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

실험계획법을 이용하여 주파수 대역의 음압 레벨을 변화시켜 음질의 특성을 분석하는 방법은 각 대역에 대한 주효과 결과를 가지고 있기 때문에 동일하거나 비슷한 시스템의 소음 대하여 주파수 대역 음압 레벨이 변화하더라도 그 값을 예측할 수 있다. 이는 추후 형상 변경이나 관심 주파수의 자리이동(shifting)에 의한 결과를 청음평가를 다시 실시하지 않고도 음질 특성을 예상할 수 있어 청음평가를 줄이는 새로운 대안이 될 것이다.

#### 참고문헌

1. Park, D. C., Jung, S. G., "Study of sound quality improvement for the vehicle," Journal of the KSNVE, Vol. 12, No. 5, pp. 517-521, 2002.
2. Zwicker, E., Fastl, H., "Psychoacoustics : Facts and

- Models," Springer 2<sup>nd</sup> Edition, 1999.
3. Lee, S. K., Chae, H. C., Park, D. C. and Jung, S. G., "Sound Quality Index Development for Booming Noise of Automotive Sound Using Artificial Neural Network Information Theory," Sound Quality Symposium. Dearbon, 2000.
4. Takeo, Hashimoto, "Sound Quality Study and its Application to Car Interior and Exterior Noise," KSNVE Spring Annual Conference, pp. 19-26, 2001.
5. Kim, M. E., Lee, D. H., "Analysis and Improvement of Interior Noise in a Passenger Car Using Taguchi Orthogonal Array," Journal of the KSNVE, Vol. 9, No. 5, pp. 998-1004, 1999.
6. Oh, J. E., Hwang, D. K., Aminudin bin Abu, Lee, J. Y., Kim, S. S., "Coherent Analysis of HVAC Using the Multi-Dimensional Spectral Analysis," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 8, pp. 143-150, 2004.
7. Park, S. H., "Modern Design of Experiments," Minyoungsa, 2003.
8. Park, H. K., Kim, J. T., "Evaluation of Door Closing Sound by Using Semantic Difference Method," Journal of the KSAE, Vol. 6, No. 2, pp. 67-79, 1998.
9. Hur, D. J., Cho, Y., Kim, H. S., Lee, G. S. and Park, T. W., "Model Development and Analysis of the Car Interior Sound Quality," Journal of the KSNVE, Vol. 10, No. 2, pp. 254-260, 2000.
10. Bendat, J. S. and Piersol, G., "Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis," John Wiley & Sons, Inc. 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier Science Ltd., 1993.
11. Lee, Y. M., Choi, B. H., Song, T. S., Kim, S. I., Lee, D. S., "Prediction of Cutting Force using Neural Network and Design of Experiments," KSPE Fall Annual Conference, 1997.