

# 실험계획법을 이용한 차량공조시스템의 음질 특성 분석

## Analysis of Subjective Sound Quality Characteristics for the HVAC using the Design of Experiments : Sharp, Annoy

윤태건\*·심현진\*\*·이정윤\*\*\*·오재응\*\*\*\*·김성수\*\*\*\*\*

Taekun Yun, Hyun-jin Sim, Jung-Youn Lee, Jae-Eung Oh and Sung-Soo Kim

**Key Words** : Design of Experiment(실험계획법), Subjective Sound Quality Characteristic(주관적 음질 특성), Sharp(날카로움), Annoy(불쾌함)

### ABSTRACT

A subjective index of sound quality when it hit him is required since human listening is very sensitive and complex. Sound quality evaluation it leads consequently rightly in each situation and it composes a sound quality factor. But one of the levels in interest frequency range is substitute we cannot see the tendency of frequency substitute at whole that is executes a clear voice evaluation. Design of experiment is used and dividing 12 equally in frequency domain, the sound quality using sharpness and annoyance is performed by modifying each of frequency domains. Design of experiment method reduces much number experiment very effectively and each main effect of domain solution analysis, such as a case of sharpness and annoyance, the change of domain (increase and decrease of sound pressure level, or change nil) can grasp a type of effect should have influenced to a sound quality, and it will be able to select the objective frequency domain which hits to the sound quality. Through these obtained results the physical changes of level at arbitrary frequency domain sensitivity can be adapted.

### 1. 서 론

최근 자동차 소음 저감 기술의 발달로 보다 조용한 운전 조건이 마련되었다. <sup>(1)</sup> 종래 차량은 성능에만 의존하는 기계라는 개념이었으나, 최근 소비자들의 안락하고 쾌적한 환경에 대한 요구가 증가하며 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 소수 차량 소음의 불평이 차량 매출 전체에 영향을 끼칠 만큼 차량 소음의 문제는 차량 개발에 있어 고려해야 할 중요한 인자가 되었다.

그러나 소음 기술 개발로 인한 소음 저감은 시끄러운 차량 소음 아래에 마스킹되었던 차량 공조시스템 소음과 같은 소음 요소들을 운전자의 인식 레벨로 포함되게 했다. 이 소음들은 전체 소

음 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.

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>(2)</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 증가시켰을 경우 예상되는 음질 특성 변경에 대한 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 실험계획법을 이용하여 차량공조시스템 소음을 측정하고 청음평가를 실시하여 주관적인 음질인자는 날카로움과 불쾌함에 대한 경향을 분석하고 전체 주파수 대역을 12 등분하여 각 대역의 소음 레벨을 증가하거나 감소시키는 변화를 통해 차량공조시스템의 주관적 음질인 날카로움과 불쾌함의 음질 특성을 분석하고 이를 통해

\* 한양대학교 대학원 자동차공학과  
E-mail : lub4u0@hanmail.net  
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

\*\* 한양대학교 대학원 자동차공학과

\*\*\* 경기대학교 기계시스템디자인공학부

\*\*\*\* 한양대학교 기계공학부

\*\*\*\*\* 현대모비스 응용기술연구부

각 음질 특성에 맞는 목적 주파수 대역을 선정하고자 한다. (3)

## 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 30 명의 대상으로 청음평가를 실시하였다.

#### (1) 대상 소음

실험에 사용된 차량은 국내 유수의 자동차 회사에서 생산된 대형차이며 소음은 아이들 상태에서 cool mode 중 사용빈도가 가장 많은 단수를 선정하여 녹음하였으며 45dB(A)의 크기를 지니고 있다. (4)

#### (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.

#### (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

#### (4) 소음의 제작 및 직교배열표

12 인자, 3 수준을 완전 배치법을 사용할 경우 5 만번 이상의 실험을 필요로 한다. 이를 효과적으로 개선하기 위해  $L_{27}(3^{12})$  직교배열표가 사용되었으며 배열은 Table 3 과 같고 인자들 사이의 교호작용은 없는 것으로 가정하였다. (5)

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

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

## 2.2 주관적 청음평가

청음평가는 청력에 이상이 없는 30 명의 남성이 참여하였으며 헤드폰을 사용하여 실시하였다. 평가방법으로는 점수부여법을 사용하였고 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.<sup>(6)</sup> 실험의 순서는 무작위로 진행되었고 원음과 수정음의 주관적 변화의 정확성을 기하기 위해 원음을 4 점 기준으로 설정하여 청음결과를 표기하도록 하였다.

## 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 주효과 분석을 실시하였다.

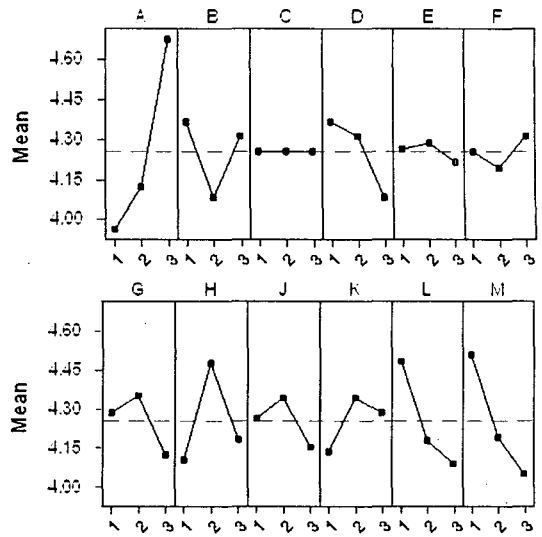
날카로움과 불쾌함에 대한 평가자의 평균은 Table 4 에 나타내었다.

### 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.

**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			

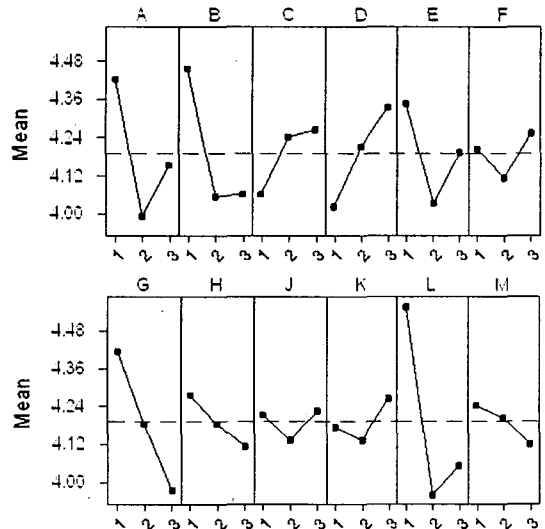


**Fig. 1** The main effect for mean of ‘Sharp’

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 차량공조시스템 소음의 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.



**Fig. 2** The main effect for mean of ‘Annoy’

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.

### 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 차량공조시스템 소음의 불쾌함을 인지하도록 하는 주파수 대역(또는 주파수)이 6400~9500 Hz 안에 있다는 것을 알 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.

## 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 이

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

었고, 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 차량공조시스템 소음의 날카로움과 불쾌함에 해당하는 음질 특성을 분석하였다. 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) 박동철 등, 2002, "승용차의 음질 개발에 관한 연구", 한국소음진동공학회지, 제 12 권, 제 5 호, pp. 342~349.
- (2) Takeo Hiromoto, 2001, "Sound Quality Study and its Application to Car Interior and Exterior Noise", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 19~26.
- (3) 김명업 등, 1999, "다구찌 직교배열표를 이용한 승용차의 실내소음 분석 및 개선", 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 5 호, pp. 998~1004.
- (4) 황동건 등, 2004, "다차원 스펙트럼 해석법을 이용한 자동차 공조시스템의 기여도 분석", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 999~1004.
- (5) 박성현, 2003, "현대 실험계획법", 민영사, 13 장.
- (6) 허덕재 등, 2000, "차량 실내소음의 음질 분석 모델화", 한국소음진동공학회지, 제 10 권, 제 2 호, pp. 254~260.
- (7) J. S. Bendat and G. Piersol, 1993, "Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis", John Wiley & Sons, Inc. 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier Science Ltd.