

# 주파수에 따른 소리에 대한 사람의 반응

## Personal Response for Sound according to its Frequency

\*김 영 일(Kim, Y. I.)  
\*\*차 일 환(Cha, I. H.)

### 요 약

소리의 주파수에 따라 사람은 그 소리에 대한 느낌이 다르기 때문에, 본 연구에서는 소리의 주파수에 따른 사람의 반응을 조사하였다.

순음과 1/3 옥타브와 1 옥타브 대역 통과 필터를 통과시켜 나온 백색 잡음 및 자동차 경음기 소리를 사람에게 들려 주고, 그 소리에 대한 느낌을 설문지로 조사하였다.

실험결과, 순음 160(Hz)에서 500(Hz) 까지의 소리에 대해서는 호의적인 반응을 나타내었고, 1,000(Hz) 이상의 순음과 백색 잡음 및 경음기 소리에 대해서는 거부감을 나타내었다.

경음기 소리는 350(Hz) 부근과 1,000(Hz)에서 2,600(Hz) 사이에서 그 성분이 가장 많이 분포되어 있는데, 경음기 소리에 대한 사람의 반응은 1,000(Hz)와 2,600(Hz) 사이의 순음과 비슷한 결과를 나타낸다.

따라서, 주택가나 사람이 많이 다니는 곳의 도로에서는 주로 200(Hz)에서 500(Hz) 사이의 경음기 소리를 발생시 카면, 사람들에게 거부감을 주지 않으면서 경음기 효과를 얻을 수 있다.

### ABSTRACT

Since people have several feelings for the sound according to its frequency the responses of sound frequencies for the people have been studied in this paper.

The feelings of sound are investigated by questionnaire that are pure tones, warning sounds of automobile and sounds that white noise is passed by one and one-third octave bandpass filter.

Experimental results have been shown that people have good response for the pure tone between

\*경상대학교 공과대학 전자공학과 교수

\*\*연세대학교 공과대학 전자공학과 교수

160(Hz) and 500(Hz), and have unpleasant response for the pure tone above 1000 (Hz), warning sounds of automobile, and for white noise.

Warning sound of automobile horn has been mainly distributed between 1000(Hz) and 2600(Hz). Hence the results are shown that the responses for warning sound of automobile horn are similar to that for pure tone between 100(Hz) and 2600(Hz).

As a results, it is necessary to make warning sound of automobile horn have frequencies between 200(Hz) and 500(Hz) with low level in the residential districts and crowded streets.

## I. 서 론

사람은 소리의 주파수에 따라 그 소리에 대한 느낌이 다르고, 같은 주파수에서도 소리의 세기 레벨과 성별에 따라 다르게 나타난다.

본 연구에서는 사람들에게 1옥타브 밴드 패스 필터를 통과한 백색 잡음, 1/3 옥타브 밴드 패스 필터를 통과한 백색 잡음, 순음을 각각 들려 주고, 이 소리들에 대한 반응을 설문지를 통하여 조사한다.

이 데이터를 근거로 하여, 자동차 경음기의 소리를 주파수 분석하고, 사람의 경음기에 대한 반응도를 검토하고자 한다.

## II. 실험 및 실험 결과

### 1. 실험 방법

1/3 옥타브 중심 주파수의 순음, 1/3 옥타브 밴드 패스 필터를 통과한 백색 잡음, 1옥타브 밴드 패스 필터를 통과한 백색 잡음, 자동차(승용차, 대형 버스, 덤프 트럭)의 경음기 소리들을 임펄스 형태로 무작위로 녹음하였다.

이 녹음된 소리들을 실내에서 21~27세 사이의 남자 86명과 21~24세 사이의 여자 39명에게 소리의 레벨을 변경시켜 가면서 들려준 후, 각 소리들에 대한 느낌을 설문지에 응답하도록 하였다.

		+2	+1	-1	-2	
1	천 밀 한					친밀하지 않은
2	유쾌한					불쾌한
3	듣기 좋다					듣기 싫다
4	짜증스럽지 않다					짜증스럽다
5	부드러운					딱딱한
6	밝은					탁한
7	금속성이다					금속성이 아니다
8	고요한					시끄러운
9	복잡한					단조로운
10	애매한					분명한
11	밝은					어두운

그림 1 설문지의 내용.

설문지의 내용은 그림 1과 같이 11가지 형용사로 구성되어 있는데, 소리에 대한 호의적인 형용사와 거부 형용사 및 기타 사항이다. 호의적인 형용사로는 친밀한, 유쾌한, 듣기 좋다, 짜증스럽지 않은이고, 거부 형용사로는 친밀하지 않은, 불쾌한, 듣기 싫다, 짜증스럽다이며, 기타 사항으로는 부드러운-딱딱한, 맑은-탁한, 금속성-비금속, 고요한-시끄러운, 복잡한-단조로운, 애매한-분명 밝은-어두운 등이다.

이 형용사에 대한 응답의 종류를 서로 대응되는 형용사에 비교하여 매우 좋다, 좋다, 나쁘다, 매우 나쁘다로 4 단계 구분하여 이 중에 한 개에만 응답하도록 하였다.

2. 반응도 계산

설문지 형용사의 4 단계에 응답한 사람의 수와 각 단계에 weight를 주어 식(1)을 이용하여 각 소리에 대한 사람의 반응도를 계산하였다.

$$D_i = \frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m M_{jlk} W_{jk}}{\sum_{l=1}^m N_l} \quad (1)$$

여기서,  $N$  : 반응도 계산에 해당되는 전체 사람 수

$M$  : 형용사의 각 단계에 응답한 사람의 수

$W$  :  $j$  번째 형용사의  $k$ -가중치

$l$  : 각 소리의 번호

매우 좋으면 +2, 좋으면 +1, 나쁘면 -1, 매우 나쁘면 -2로 하여 각 단계에 가중치를 주었다.

호의적인, 또는 거부적인 반응도 계산은 설문지의 제 1항부터 제 4항까지만으로 하였다.

이 반응도 값은 +8에서 -8까지이며, 양수값이면 호의적인 반응을 나타내고, 음수값이면 거부

적인 반응을 나타내며, 절댓치 값이 클수록 그 반응이 강하다.

3. 실험 결과

(1) 소리에 대한 사람의 반응

그림 2는 각 소리에 대한 사람의 반응도를 나타낸 것인데, 중간점선은 임계값을 나타낸다.

그림 2에서와 같이 1/3 옥타브 백색 잡음과 1 옥타브 백색 잡음은 전부 거부 반응이 강하게 나타내고 있으며, 일반적으로 주파수가 높을수록 거부 반응을 강하게 나타낸다.

순음의 경우에는 160 (Hz)에서 500 (Hz) 사이에서 호의적인 반응이 나타나고, 630 (Hz) 이상에서는 거부 반응을 나타낸다. 순음의 경우에도 일반적으로 주파수가 높을수록 거부 반응이 강하게 나타난다.

소리에 대한 사람의 반응도는 거부 반응이 1/3 옥타브 백색 잡음, 1 옥타브 백색 잡음, 순음의 순서로 나타나는데, 백색 잡음의 경우에는 500 (Hz) 이상에서는 거부 반응이 거의 비슷하게 일어나지만, 순음의 경우에는 1000 (Hz) 이상부터 거부 반응

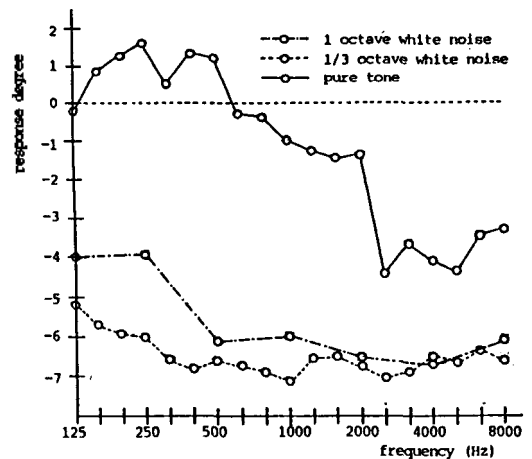


그림 2 소리에 대한 사람의 반응도.

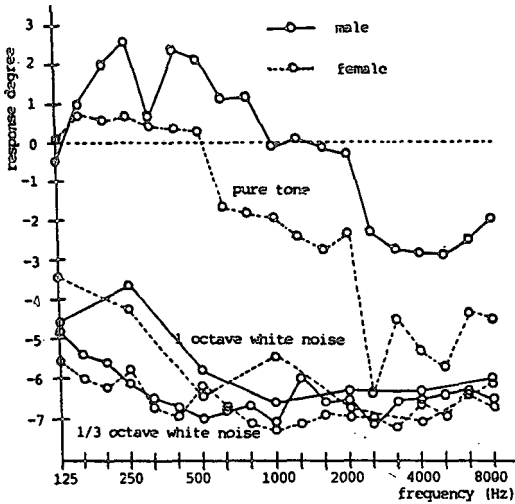


그림 3 성별에 따른 소리에 대한 반응도.

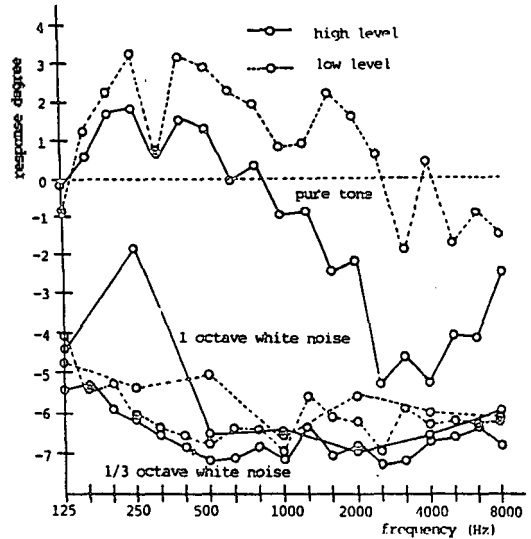


그림 4 소리의 세기 레벨의 변화에 따른 사람의 반응도.

이 크게 나타난다.

그림 3은 성별에 따른 소리에 대한 반응도를 나타낸다.

그림 3에서와 같이 남자의 경우에는 순음 160 (Hz)에서 800(Hz) 사이에서만 호의적인 반응을 나타내고, 그 외의 주파수의 순음과 백색 잡음 전부에 대해서는 거부 반응을 나타낸다. 여자의 경우에도 순음 125(Hz)에서 500(Hz) 사이에서만 호의적인 반응을 나타내고, 그 외의 주파수의 순음과 백색 잡음 전부에 대해서 거부 반응을 나타낸다.

소리에 대한 반응도는 여자가 남자보다 전반적으로 거부 반응을 강하게 나타낸다. 특히 순음의 경우에는 여자는 좁은 주파수 범위에서 낮은 호의적인 반응도를 나타낸 반면, 남자의 경우에는 여자에 비하여 높은 호의적인 반응도가 넓은 주파수 범위에서 나타난다.

소리에 대한 감수성은 여자가 남자보다 더 예민함을 알 수 있다.

그림 4는 소리의 세기 레벨의 변화에 따른 사람의 반응도를 나타낸 것인데, 높은 레벨과 낮은 레벨은 10(dB)의 차이가 있다.

그림 4에서와 같이 높은 레벨이 낮은 레벨보다 거부 반응을 강하게 나타낸다. 특히, 순음인 경우는 낮은 레벨에서는 높은 주파수(2500Hz)까지 호의적인 반응을 나타내고 있다.

그림 5는 현재 우리나라에서 운행되는 승용차, 덤프 트럭, 대형 버스의 경음기 소리들을 FFT 분석기(B & K, Type 2033)로 주파수를 분석한 결과 중의 실례인데, 그림 5에서 보는 바와 같이 어떤 기본 주파수의 고조파 성분으로 구성되어 300(Hz)~350(Hz)의 분포로 피크 값이 나타난다.

각 차량들의 경음기 소리들의 주파수 스펙트럼의 피크 값들을 포락선으로 연결한 것이 그림 6이다.

그림 6에서와 같이 승용차 A는 2600(Hz), 승용차 B는 400(Hz), 2400(Hz), 덤프 트럭은 350(Hz)

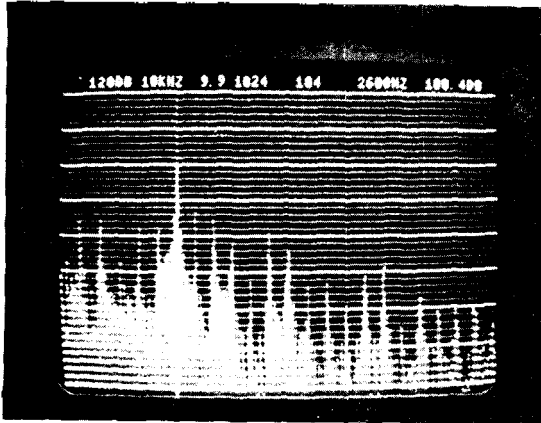


그림 5 자동차 경음기 소리의 주파수 분석 예.

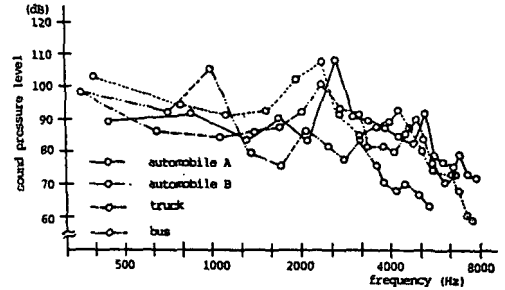


그림 6 자동차 경음기의 주파수 스펙트럼.

표 1. 자동차 경음기 소리에 대한 사람의 반응도

	남 자		여 자	평 균
	높은레벨	낮은레벨		
승용차A	-3.86	-2.29	-3.08	-4.72
승용차B	-2.23	-1.34	-1.79	-2.91
덤프트럭	-2.31	-1.17	-1.74	-4.17
대형버스	-2.59	-1.34	-1.97	-5.12
평 균	-2.75	-1.54	-2.15	-4.23

z), 2400(Hz), 2700(Hz), 3000(Hz), 대형 버스는 350(Hz), 1050(Hz)에서 포락선의 피이크 값을 나타내고 있다.

이 중에서 각 차량의 경음기의 주요 주파수 성분으로는 승용차 A는 2600(Hz), 승용차 B는 2400(Hz), 덤프 트럭은 2400(Hz), 대형 버스는 1050(Hz) 등이지만, 다른 주파수 성분과 그 스펙트럼 값에 따라 반응도에 영향을 준다.

표 1에서와 같이 경음기 소리는 사람들에게 거부감을 주고, 남자보다는 여자가 낮은 레벨보다는 높은 레벨이 거부반응을 강하게 나타낸다.

승용차A와 대형버스는 주요주파수 성분인 2600(Hz)와 1050(Hz)에 1000(Hz)보다 높은 다른 주파

표 2. 각 경음기 소리의 주요 주파수 성분

요인	1 요인	2 요인	3 요인
경음기	2600	875	5200
승용차A	(107.7)	(91.4)	(91.5)
승용차B	2400	400	4350
	(107.3)	(103)	(92.5)
덤프트럭	2400	350	4800
	(100.4)	(98.6)	(89.9)
대형버스	1050	2100	3150
	(105.4)	(86.4)	(83.2)

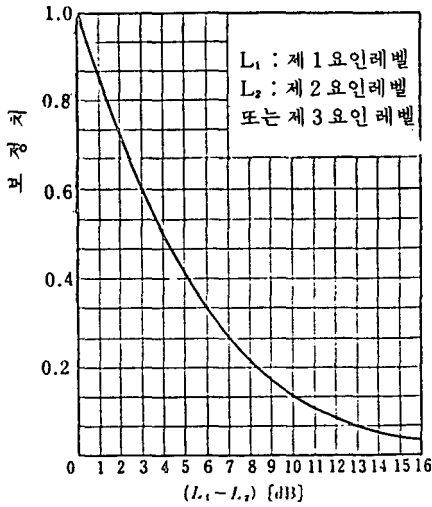


그림 7 레벨차에 따른 반응도의 보정치.

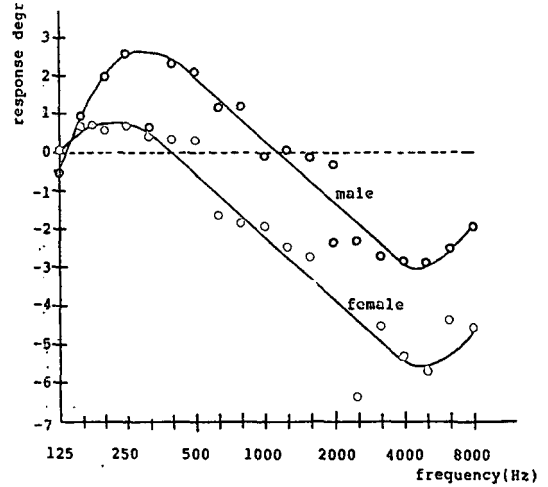


그림 9 성별에 따른 순음의 반응도 곡선.

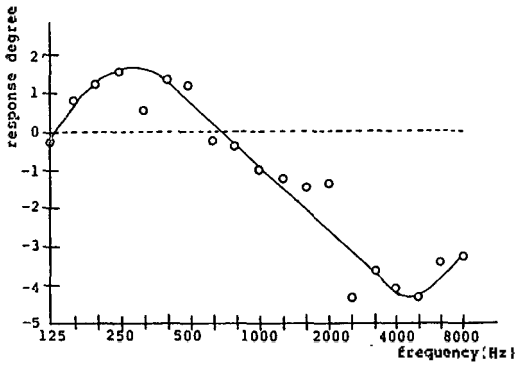


그림 8 순음에 대한 사람의 반응도 곡선.

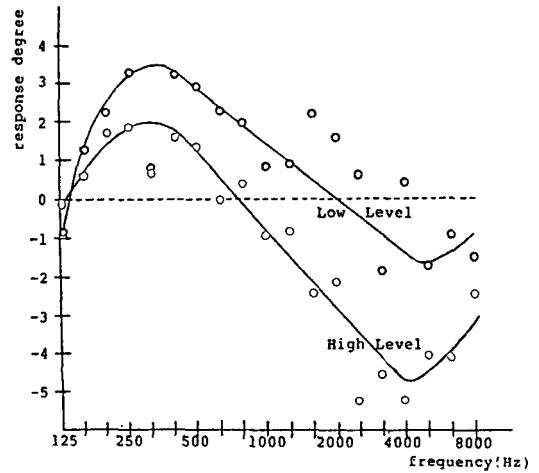


그림 10 세기 레벨의 변화에 따른 순음의 반응도 곡선.

수에 의해 거부반응이 강하게 나타나고, 승용차B보 덤프트럭의 주요주파수 성분은 2400 (Hz) 이지만, 다른 주파수 성분인 400 (Hz), 350 (Hz)에 의해 거부 반응이 약하게 나타난다.

#### 4. 순음에 의한 경음기 소리의 반응

각 경음기 소리의 반응도에 영향을 주는 주파수의 제 1요인, 제 2요인, 제 3요인은 표 2와 같다.

표 2에서 팔호 안의 값은 그 주파수의 스펙트럼 값이며, 스펙트럼 값의 단위는 (dB)이다.

표 2에서 보는 바와 같이 각 요인의 주파수에 해당하는 스펙트럼 값에는 차이가 있는데, 이 레벨차

표 3. 순음에 의한 경음기 소리의 반응도

		제 1 요인	제 2 요인	제 3 요인	계산된 반응도
승용차A	반응도	-3.3	-0.5(0.03)	-4.3(0.03)	-3.44
	보정 반응도	-3.3	-0.015	-0.129	
승용차B	반응도	-2.9	1.5(0.17)	-4.3(0.03)	-2.77
	보정 반응도	-2.9	0.255	-0.129	
덤프트럭	반응도	-2.9	1.3(0.2)	-4.5(0.13)	-3.23
	보정 반응도	-2.9	0.26	-0.585	
대형버스	반응도	-1.1	-2.6(0.03)	-3.6(0)	-1.18
	보정 반응도	-1.1	-0.078	0	

표 4. 순음에 의한 경음기 소리의 성별에 따른 반응도

		제 1 요인		제 2 요인		제 3 요인		계산된 반응도	
		남	여	남	여	남	여	남	여
승용차 A	반응도	-2.0	-4.6	0.6(0.03)	-1.9(0.03)	-3.0(0.03)	-5.5(0.03)	-2.07	-4.82
	보정 반응도	-2.0	-4.6	0.018	-0.57	-0.09	-0.165		
승용차 B	반응도	-1.8	-4.2	2.4(0.17)	0(0.17)	-3.1(0.03)	-5.6(0.03)	-1.49	-4.37
	보정 반응도	-1.8	-4.2	0.408	0	-0.093	-0.168		
덤프 트럭	반응도	-1.8	-4.2	2.1(0.2)	0.4(0.2)	-3.1(0.13)	-5.6(0.13)	-1.78	-4.85
	보정 반응도	-1.8	-4.2	0.42	0.08	-0.403	-0.728		
대형 버스	반응도	0.2	-2.3	-1.4(0.03)	-3.9(0.03)	-1.9(0)	-4.4(0)	0.16	-2.42
	보정 반응도	0.2	-2.3	-0.042	-0.117	0	0		

에 의해 소리에 대한 반응도가 달라지므로 각 레벨 차에 따른 반응도의 보정치는 그림 7과 같다.

순음의 반응도로 경음기 소리의 반응도를 계산하기 위해 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같이 각각 순음에 대한 사람의 반응도, 순음에 대한 성별에 따

른 반응도, 순음에 따른 레벨차에 따른 반응도의 결과를 곡선으로 나타낸다.

경음기 소리는 여러 주파수 성분으로 구성되어 있기 때문에, 경음기 소리의 반응도는 제 2요인과 제 3요인의 반응도의 계산에는 제 1요인의 반응도

표 5. 순음에 의한 경음기 소리의 레벨차에 따른 반응도

		제 1 요 인		제 2 요 인		제 3 3 요 인		계산된반응도	
		높은레벨	낮은레벨	높은레벨	낮은레벨	높은레벨	낮은레벨	높은레벨	낮은레벨
승용차 A	반응도	-3.6	-0.6	-0.3(0.03)	1.7(0.03)	-4.3(0.03)	-1.5(0.03)	-3.74	-0.59
	보정 반응도	-3.6	-0.6	-0.009	0.051	-0.129	-0.045		
승용차 A	반응도	-3.3	-0.4	1.8(0.17)	3.3(0.17)	-4.7(0.03)	-1.5(0.03)	-3.14	0.12
	보정 반응도	-3.3	-0.4	0.306	0.561	-0.141	-0.045		
덤프 트럭	반응도	-3.3	-0.4	1.9(0.2)	3.4(0.2)	-4.1(0.13)	-0.6(0.13)	-3.45	0.20
	보정 반응도	-3.3	-0.4	0.38	0.68	-0.533	-0.078		
대형 버스	반응도	-0.9	1.2	-2.9(0.03)	-0.2(0.03)	-4.1(0)	-1(0)	-0.99	1.19
	보정 반응도	-0.9	1.2	-0.087	-0.006	0	0		

뿐만 아니라 제 2요인과 제 3요인의 반응도도 고려해야한다.

경음기 소리의 주파수 제 2요인과 제 3요인을 그림 8, 그림 9, 그림 10의 곡선으로 각 요인의 반응도를 구하고, 그것과 그림 7의 레벨차 보정치와 계산한 결과를 제 1요인의 반응도와 합하여 경음기 소리에 대한 반응도, 성별에 따른 반응도, 레벨차에 따른 반응도를 계산한 결과는 각각 표 3, 표 4, 표 5와 같다.

표 3, 표 4, 표 5에서 제 2요인과 제 3요인의 팔호 안의 값은 레벨차에 따른 보정값이다.

표 3, 표 4, 표 5에서 보는 바와 같이 순음의 곡선에서 경음기 소리에 대한 반응도를 계산한 결과는 경음기 소리에 대한 반응도인 표 1과 비교하면 거의 비슷하다.

### III. 결 론

소리의 주파수에 따라 그 소리에 대한 느낌이 다

르므로, 소리의 주파수에 따른 사람의 반응을 조사했다.

실험 결과, 순음 160(Hz)에서 500(Hz) 사이에서는 호의적인 반응을 나타냈고, 그 외의 주파수의 순음과 백색 잡음에서는 거부 반응을 나타냈다.

현재 운행되는 자동차의 경음기 소리에 대한 사람의 반응도는 순음의 반응과 유사한 결과를 나타냈다.

따라서, 주택가 또는 사람이 많이 다니는 곳의 도로에서 사용되는 경음기는 주로 200(Hz)에서 500(Hz)사이의 낮은 레벨의 소리를 발생시키면 경음기 효과 뿐만 아니라 사람에게 거부감을 주지 않을 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 차일환, 음향공학개론, 한신문화사, 1976.
2. Bruce Masteron, Henry Heffner, and Richard Rivizza, "The Evolution of Human Hearing,"



- J.A.S.A., Vol.45, No.4, pp.966-985, 1969.
3. Julius L. Goldstein, Gershon Buchsbaum, and Miriam Furst, "Compatibility between Psycho-physical and Pysiological measurements of Aural Combination Tones," J.A.S.A., Vol.63, No.2, pp.474-485, 1978.
  4. Teruji Yamamoto and Fumiyooshi, "Multivariate Analysis of Subjective Measures for sound in Rooms and the Physical Values of Room Acou-tics," The Journal of the Acoustical Society of Japan, Vol.32, No.10, pp.599-605, 1976.
  5. Ira M. Ventry, Robert W. Woods, Martha Rubin and Wathina Hill, "Most Comfortable Loudness for Pure Tones, Noise, and Speech," J.A.S.A., Vol.49, No.6, pp.1805-1813, 1971.
  6. 안재구, 조용, 박중철, 근대통계학, 행성출판사, 1975.
  7. 境久雄 聴覚と音響心理, ユロナ社 1978.
  8. 田中良久, 心理学的測定法, 東京大学出版会, 1982.