

교통소음의 모노럴과 바이노럴 청감 비교 연구 I: 측정 및 분석[#]

Comparison of Human Responses to Transportation Noise in Monaural and Binaural Hearing, Part I: Measurement and Analysis

김재환* · 임창우* · 정원태* · 홍지영* · 이수갑† · 정완섭**

Jaehwan Kim, Chang Woo Lim, Wontae Jeong, Jiyoung Hong, Soogab Lee and Wansup Cheung

(2004년 7월 19일 접수 : 2004년 11월 22일 심사완료)

Key Words : Microphone(마이크로폰), Monaural(모노의), Dummy Head(터미헤드), Binaural(양이의), Head Shadowing(머리에 의한 차폐), Pinna(귓바퀴)

ABSTRACT

Measurement of noise is not only to know the information of acoustic pressure but to assess human response to noise. To find human response to transportation noise through the laboratory study, we have to measure and reproduce noise. The method of noise reproduction is largely divided into monaural and binaural techniques. But human fundamentally hears sound through both ears, referred as binaural hearing. Binaural signal is different from monaural signal because it includes more information of physical phenomena like acoustical reflection, diffraction and refraction. Especially head and pinna play an important role in perceiving change of signal origin. So, the amplitude of binaural signal is higher than that of monaural signal and spectrum of both signals is discriminated. Most of assessment and regulation of transportation noise are, however, based on monaural measurement techniques. The quantitative difference between monaural and binaural measurement is investigated in this study. Comparison on several transportation noises shows defect of information in monaural measurements.

기호설명

a : 홀극 강도(monopole strength)의 시간변화율
 c : 음속
 H_L : 왼쪽 귀에 대한 HRIR

H_R : 오른쪽 귀에 대한 HRIR
 N : 홀극의 총 개수
 P : 음압
 P_L : 왼쪽 귀에서의 음압
 P_{L_n} : n 번째의 홀극에 대한 왼쪽 귀에서의 음압
 P_n : n 번째의 홀극에 대한 음압
 r : 소음원에서 측정지점까지 거리
 t : 시간
 ϕ : 홀극 음원의 고도각
 σ_0 : 공기 밀도
 τ : 국부적 시간
 θ : 홀극 음원의 방위각

† 책임저자 : 정희원, 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : solee@plaza.snu.ac.kr
Tel : (02) 880-7384, Fax : (02) 875-4360

* 서울대학교 기계항공공학부

** 정희원, 한국표준과학연구원

이 논문은 2004 춘계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

1. 서론

소음 노출 순간의 소음도와 청감반응과의 상관관계를 분석하는 연구는 방법이나 시간, 비용의 측면에서 많은 제약이 따른다. 따라서 가상의 음 재현 장치를 이용하여 대부분의 연구가 수행되고 있다.^(1~3) 이러한 연구는 소음원이 고정된 경우에는 그의 상대적 위치까지 고려한 실험이 가능하지만 교통소음과 같은 움직이는 소음원에 대해서는 소음원의 이동속도, 이동방향, 세기 등을 전부 고려한다는 것은 불가능하다고 판단된다. 그러나 각 소음원에 대한 특징적인 반응을 비교하는 것에는 별 무리가 없을 것으로 사료된다. 이 연구에서는 짧은 노출시간의 소음 피폭량(short-term noise exposure)과 이의 주관적 반응과의 상관성이 모노럴(monaural)과 바이노럴(binaural) 방식, 각각의 경우에 어떻게 다르게 나타나는지에 대한 연구를 수행하기 위해 모노럴과 바이노럴 음 재현 장치를 구축하고 이를 이용하여 둘 간의 청감반응(annoyance response) 특성을 비교하였다.

현재 교통소음과 관련된 소음 규제 및 관련법에서는 소음도 측정을 위해 한 개의 마이크로폰을 사용하고 있다. 그러나 실제로 사람들에게 노출되는 소음은 '양 귀'와 '머리'등과 같은 필터를 통해 걸러진 소리로, 한 개의 마이크로폰으로 측정된 신호(monaural signal)와는 차이가 있다.⁽⁴⁾

따라서 이 논문에서는 마이크로폰과 더미헤드를 이용한 측정절차와 한 개의 마이크로폰으로 측정된 신호와 더미헤드의 양 귀로 들어오는 신호가 어떻게 다른지를 살펴보고자 한다. 그리고 소음과 청감반응과의 상관성 연구를 통한 두 경우의 심리적 반응의 차이에 관한 연구는 Part II: annoyance에서 언급하도록 하겠다.

2. 물리적 현상

한 개의 마이크로폰을 통해 측정되는 신호와 더미헤드의 양 귀에 들어오는 신호가 왜 다른지에 대하여 바이노럴 메커니즘(binaural mechanism) 통해 그 이유를 살펴보면 다음과 같다.^(5~6)

첫째, 사람의 머리, 귓바퀴, 어깨 등은 일종의 방향성 필터(directional filter) 역할을 한다.

둘째, 기본적으로 인간의 귀는 두 채널 입력시스템으로 음의 공간분포를 느낄 수 있다.

셋째, 사람의 머리에 의한 음향학적 차폐(acoustic shadow) 때문에 양 귀에 들리는 소음도가 다르며 귓바퀴 효과에 의해 사람이 듣게 되는 소리는 하나의 마이크로폰을 사용할 때의 소음도와는 차이가 있다.

마지막으로, 사람의 머리, 어깨, 귓바퀴에서는 음의 반사, 굴절, 회절현상이 나타나므로 더미헤드에 의해 측정된 신호가 실제 물리적 현상에 대한 정보를 더 많이 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 이론적으로 음압을 계산할 경우에 한 개의 마이크로폰에서와는 달리 더미헤드의 머리와 귓바퀴의 필터링 효과(머리 전달함수)를 고려해야 한다.

예를 들어, 마이크로폰과 더미헤드 주위에 n 개의 홀극(monopole)을 놓고 각각의 경우에 대해서 음압을 구한다면 다음과 같다.⁽⁷⁾

1개의 마이크로폰과 n 개의 홀극(monopole)이 있다면 음압은 식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

$$P(t) = \sum_{n=1}^N p_n(t) = \sum_{n=1}^N \left(\frac{P_0}{4\pi r_n} \right) a_n \left(t - \frac{r_n}{c} \right) \quad (1)$$

그러나 더미헤드와 n 개의 홀극(monopole)이 있다면, 각각의 주파수별 방위각(θ)과 고도각(ϕ)에 따른 더미헤드의 응답특성을 나타내는 머리전달함수(HRTF: head related transfer function)를 고려해야 한다. 머리전달함수(HRTF)는 머리중심에의 음압에 대한 막혀있는 외이도 입구에서의 음압의 비로 정의되며,^(8~10) 이의 역푸리에 변환을 통해 얻어지는 HRIR(head related impulse response)와 n 개의 홀극 간의 컨볼루션(convolution) 연산을 취하면 좌우 귀에 들리는 음압을 얻을 수 있다. 그것을 수식으로 나타내면 아래와 같다.

먼저, n 번째 홀극에 의한 왼쪽 귀에서의 음압은 다음과 같다.

$$P_{Ln}(t) = \int_0^{\infty} H_L(\theta_n, \phi_n, \tau) P_n(t - \tau) d\tau \quad (2)$$

또 이를 이산화된 형태로 바꾸면 식 (3)이 된다.

$$P_{Ln}[i] = \sum_{j=0}^{M-1} H_L[\theta_n, \phi_n, j] P_n[i - j] \quad (3)$$

따라서 왼쪽 귀에 들리는 음압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_L = \sum_{i=1}^N P_{Ln}[i] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{M-1} H_L[\theta_n, \phi_n, j] P_n[i-j] \quad (4)$$

오른쪽 귀에서의 음압도 같은 방법으로 구해질 수 있다.

식 (1)과 (4)를 보면 모노럴 방식의 소음도 계산은 식 (1)로 정의 되며 단순히 n 개의 홀극에 대한 음압의 합으로 표시되지만, 바이노럴 방식의 경우는 귀의 응답특성이 가중된 홀극 음압의 합으로 표시됨을 알 수 있다.

3. 표본음 측정

3.1 측정장치

이 연구에서는 비정상소음 중 음압레벨의 변화가 비교적 완만한 변동소음인 교통소음을 주 연구 대상으로 한다. 현재 소음측정의 기반은 국제표준(ISO) 환경소음 측정 및 평가에 대한 표준안들에 기초를 두고 있다.^(11~13)

3.2 측정장치의 구성

Fig. 1은 모노럴/바이노럴 소음측정 장치의 구성도를 나타낸 것이며, 이 장치는 하나의 마이크로폰을 이용하는 모노럴 측정 장치와 사람의 형상으로 제작된 HATS(head and torso simulator)의 양 귀에 설치되어 있는 두 개의 마이크로폰을 이용하여 사람의 양 귀로 전달되는 소음을 측정하도록 고안된 바이노럴 측정 장치로 구분하여 개발되었다. 이는 사람이 좌측과 우측 2개의 대칭형 청각기관을 가지고 있음에도 불구하고, 양 귀에서 들리는 소음을 측정, 분석한 결과를 환경소음 평가에 이용하고 있지 않다는 점에 착안하였다. 이는 곧, '한 개의 마이크로폰으로 측정된 신호가 사람의 양 귀로 들어오는 신호와 다름에도

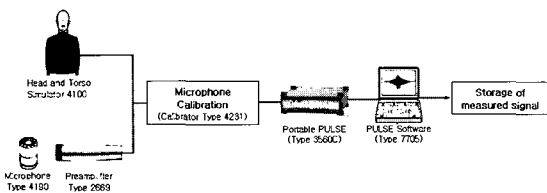


Fig. 1 Schematic diagram of measurement devices

불구하고 모노럴 측정장치로 측정된 물리량이 현재의 소음평가에 사용된다'는 것과 같은 의미이다.

따라서 이 연구에서는 실제로 인간의 양 귀로 소리가 전달되는 방법(사람의 귀에 전달되는 소음은 청취자의 귀에 직접 전달되는 음과 몸으로부터 반사와 회절된 후에 귀에 도달하게 되는 음으로 구분된다)과 유사한 방법으로 녹취하고 이를 분석함으로써 소음측정 및 청감반응특성을 보다 구체적으로 연구하고자 한다.

또, 이 측정 장비는 다 채널 입출력 방식을 채택하고 있어 동시에 교통소음에 대한 모노럴 및 바이노럴 소음 데이터를 측정함으로써 동일한 조건과 시간에서의 녹취가 가능하다. 따라서 이 장치는 청감반응실험을 통하여 모노럴 및 바이노럴 방식에 따른 사람들의 반응특성의 차이를 연구하는데 적합하다.

소음의 측정은 가청범위인 20 Hz~20 kHz까지의 대역을 충분히 포함하고, 또 그 대역에서의 주파수 성분에 관한 정보를 알 수 있도록 하기 위해 샘플링 레이트(sampling rate)을 64 kHz로 하였다.

3.3 측정 조건

Fig. 2는 측정장치의 측정위치와 측정전경을 나타낸 것이다.

측정 시 마이크로폰과 HATS사이의 거리는 약 80 cm로 하였으며 측정 높이는 사람들이 일상생활 중에 노출되는 교통소음에 대한 보다 정확한 표본음 녹취를 위하여 우리나라 남자의 평균 신장 173.3 cm를 고려하여 지면으로부터 170 cm 높이에서 수행하였다.

항공기 소음의 측정은 이·착륙 경로 상의 지점으로 활주로부터 약 100 m 떨어진 지점에서 수행하였으며, 기차와 도로소음은 가까운 쪽의 철로와 도로 끝을 기준으로 약 15 m 정도 거리에서 측정을 수행하였다.

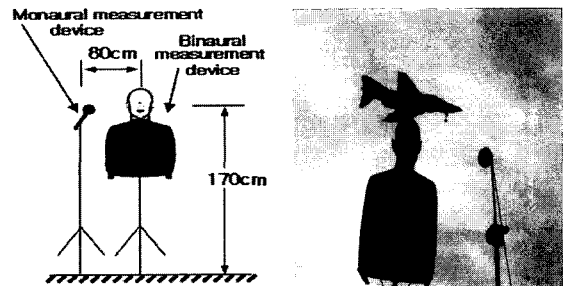


Fig. 2 Relative position of measurement devices (left) and measurement scene(right)

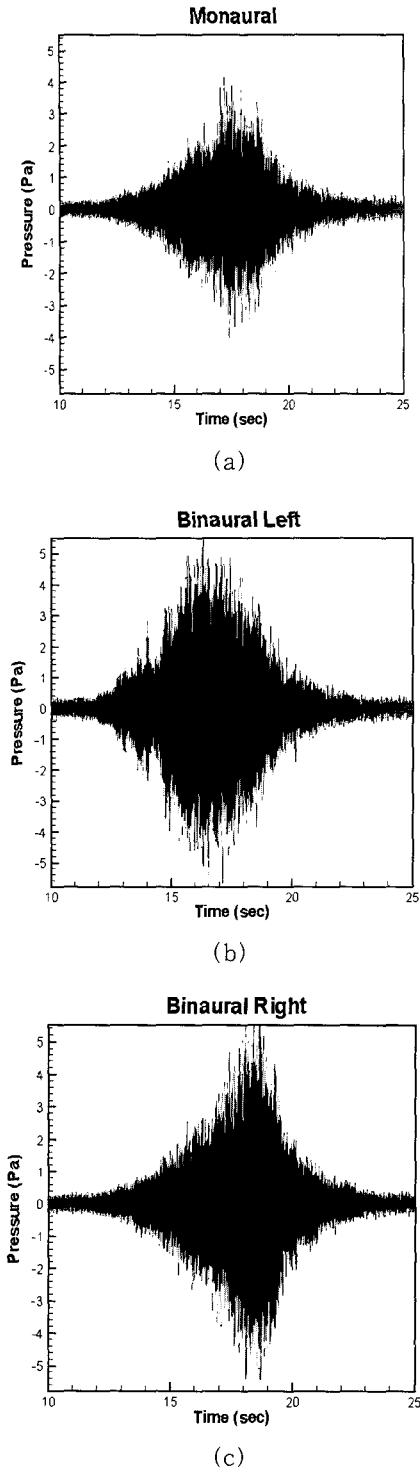


Fig. 3 Measured signals of civil aircraft in time domain. (a) monaural, (b) binaural left, (c): binaural right

4. 데이터 분석 및 결과

4.1 시간영역 데이터 분석

Fig. 3은 마이크로폰과 더미헤드 양쪽 귀에서 측정된 측정지점을 기준으로 전방 좌측에서 우측으로 비행하는 착륙 전의 민간 항공기의 표본음 샘플을 나타낸 것이다. 같은 시각 같은 장소에서 측정된 것이지만 그림에서 알 수 있는 것과 같이 서로 다른 신호가 들어오고 있음을 알 수 있다. 바이노럴의 경우가 모노럴 신호에 비하여 상대적으로 약간 더 크며, 더미헤드의 양 귀중 왼쪽은 접근방향을 오른쪽은 후퇴하는 방향이었으므로 음의 방향성과 더미헤드의 음향학적 차폐 효과(head shadow effect)에 의해 왼쪽 귀로 들어오는 신호의 음압이 높게 나타났다. 그리고 민항기가 착륙을 위해 속도를 줄이는 상황이었으므로 바이노럴 신호의 최대음압 도달 시간 차가 고속 운행일 때보다 상당히 길게 나타난 것으로 보인다. 또한, 엔진 앞쪽으로 전파되는 소음특성과 뒤쪽으로 전파되는 특성의 차이가 측정결과에 반영된 것으로 판단된다.

군용 항공기의 경우 민항기와는 달리 더미헤드의 왼쪽을 통과하여 빠르게 이륙하는 F-5 전투기를 측정된 것으로 Fig. 4를 육안으로 보아서는 최대음압 도달시간의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않는다. 음원의 위치가 왼쪽에 위치하였기 때문에 더미헤드의 왼쪽 귀에 들리는 소리가 컸으며, 오른쪽 귀는 음원의 위치와 반대방향을 지향하였음에도 불구하고 전투기

Table 1 Equivalent continuous sound level of civil aircraft

Civil aircraft	Monaural	Binaural left	Binaural right
$L_{eq}(\text{linear})$	80.9 dB	84.1 dB	83.4 dB
$L_{eq}(A\text{-weighting})$	75.0 dB(A)	82.9 dB(A)	81.5 dB(A)

Table 2 Equivalent continuous sound level of military aircraft

Military aircraft	Monaural	Binaural left	Binaural right
$L_{eq}(\text{linear})$	81.4 dB	83.3 dB	81.2 dB
$L_{eq}(A\text{-weighting})$	74.5 dB(A)	79.4 dB(A)	74.8 dB(A)

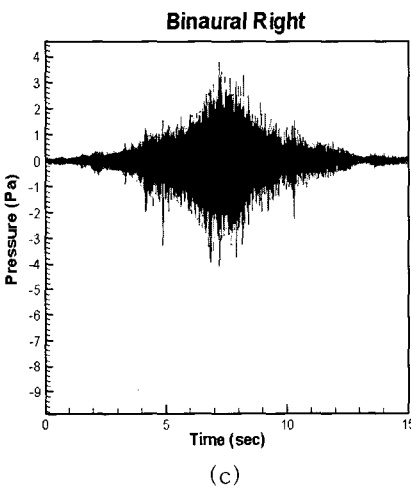
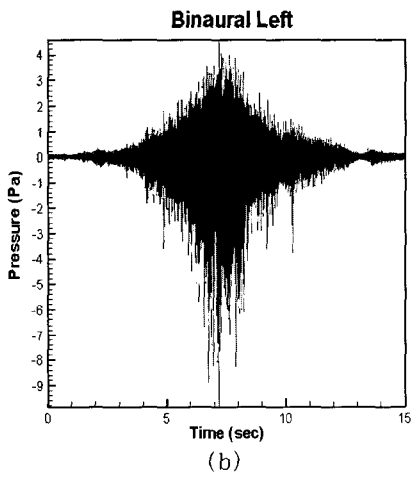
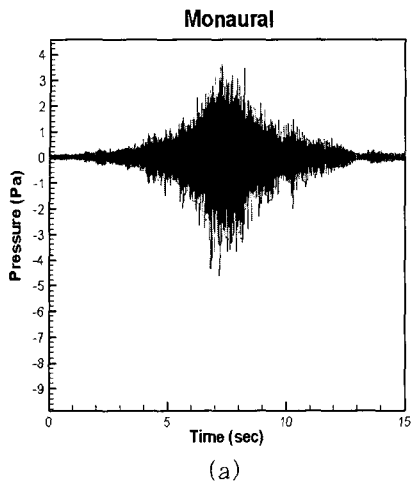


Fig. 4 Measured signals of military aircraft in time domain. (a) monaural, (b) binaural left, (c) binaural right

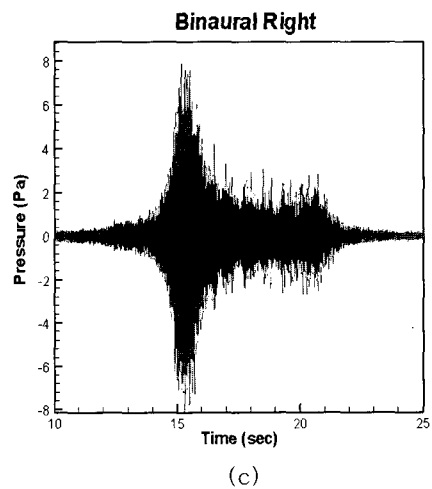
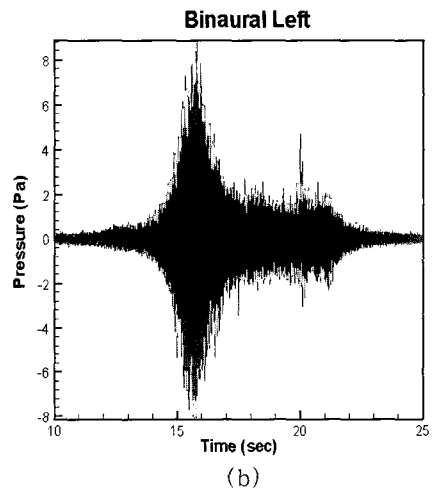
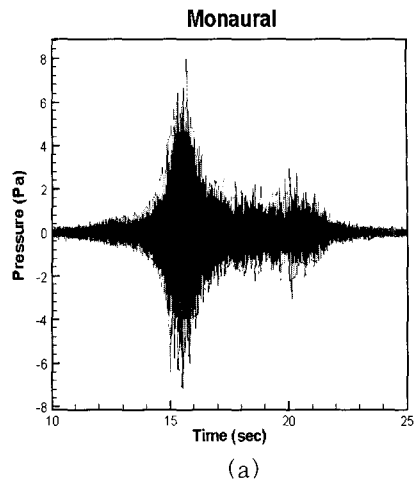


Fig. 5 Measured signals of train in time domain. (a) monaural, (b) binaural left, (c) binaural right

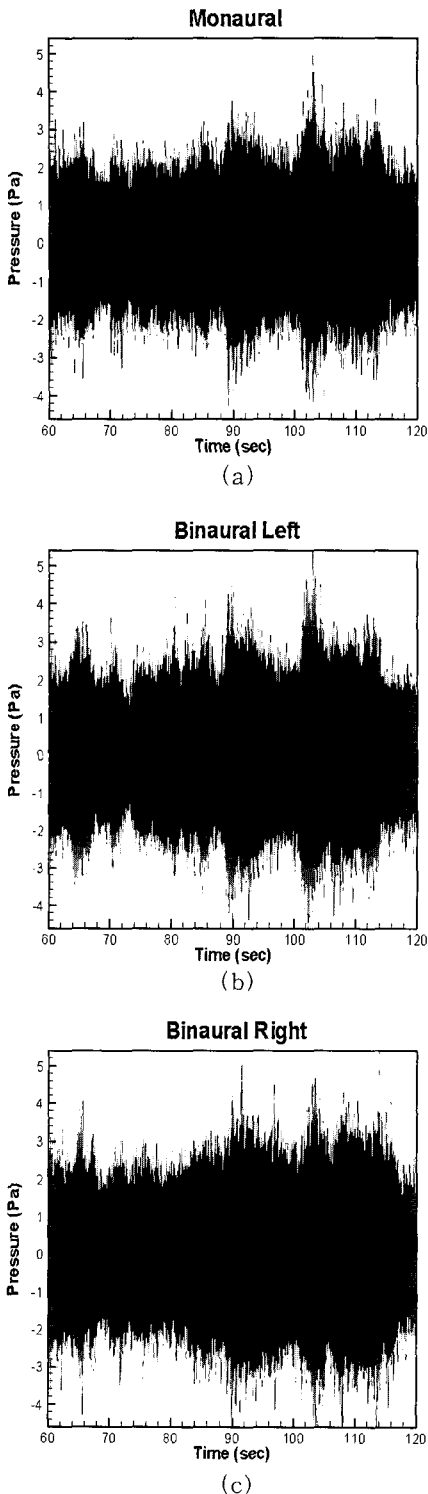


Fig. 6 Measured signals of road traffic noise in time domain. (a) monaural, (b) binaural left, (c) binaural right

접근방향을 지향시킨 모노럴 신호의 음압 크기와 거의 유사하였다. 이는 컷바퀴 효과에 의한 것으로 Batteau(1967)⁽¹⁴⁾의 주장에 따르면 컷바퀴는 음의 반사기로 외이도 입구에 도달하지 못하고 컷바퀴에 도달하는 음을 반사시켜 외이도 입구로 음을 모아주는 역할을 한다.

Fig. 5와 Table 3은 기차 소음측정 표본음과 소음도를 나타낸 것이다. 마이크로폰과 더미헤드를 철로에 수직방향으로 하여 측정하였으며, 컷바퀴 효과와 머리의 음향학적 차폐, 소스로부터의 미소한 거리 차, 마이크로폰의 지향 방향 등에 의해 모노럴 신호와 바이노럴의 왼쪽, 오른쪽 신호에 차이가 나타남을 알 수 있다. Table 3에서 보면 무보정 경우는 약 1dB 미만의 차이를 보이지만 A특성으로 보정된 음압레벨에서는 상당히 큰 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 이는 곧 사람이 받는 에너지량은 모노럴과 바이노럴의 경우에 별 차이가 없지만 소음의 유효(실제 사람이 느끼는) 피폭량에서는 큰 차이가 남을 의미한다.

도로소음은 다른 소음원의 측정과 달리 자동차 한 대에 대한 정보가 아니라 고속도로 변에서 1분간 측정된 데이터이다. 측정 조건은 기차 소음과 마찬가지로 도로에 수직방향으로 측정하였다. Fig. 6과 Table 4의 L_{eq} (무보정) 값을 통해 바이노럴 신호의 소음도가 조금 더 큼을 알 수 있다. 항공기 소음, 기차 소음에서와 마찬가지로 바이노럴 신호가 모노럴 신호보다 약간 크게 측정되고 있으며, 바이노럴 신호가 모노럴 신호에 비하여 고주파 성분을 많이 포함하고 있어서 주파수 A특성이 고려된 소음도를 비교해 볼 때 모노

Table 3 Equivalent continuous sound level of train

Train	Monaural	Binaural left	Binaural right
L_{eq} (linear)	84,6 dB	85,6 dB	84,8 dB
L_{eq} (A-weighting)	76,6 dB(A)	82,1 dB(A)	80,6 dB(A)

Table 4 Equivalent continuous sound level of road traffic noise

Road traffic	Monaural	Binaural left	Binaural right
L_{eq} (linear)	85,6 dB	86,2 dB	86,6 dB
L_{eq} (A-weighting)	79,1 dB(A)	81,9 dB(A)	82,6 dB(A)

럴 신호와의 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 이는 고주파의 경우 머리에 의한 차폐효과와 저주파의 경우 음향학적 회절특성뿐만 아니라 컷바퀴 효과에 기인한 것이다.

4.2 주파수영역 데이터 분석

(1) 민간 항공기

민항기의 주파수 특성은 크게 팬 소음(fan noise) 과 젯 소음(jet noise)으로 구분된다. 비교적 높은 주파수 대역에 걸쳐 팬 소음이 나타나고 저주파 대역을 포함한 광대역에서 젯 소음이 나타난다. 3~6 kHz 대역에서 팬 블레이드와 매질의 상호작용에 의한 팬의

톤(tone) 성분이 두드러지게 나타남을 위의 그림들을 통해 알 수 있다.

또 민항기가 접근할 때에 팬의 톤 성분이 두드러지게 나타났지만 측정지점을 통과한 후에는 팬의 톤 성분이 상대적으로 감소되어 나타나고 있다.

모노럴 신호와 바이노럴 신호의 주파수 특성에서 전반적인 차이는 Fig. 7~9를 비교해 보았을 때 약 2 kHz 이상의 고주파 대역에서 바이노럴 신호가 증폭된다는 것이다.

(2) 군용 항공기

Fig. 10~12는 각각 F-5 전투기 이륙시의 모노럴과 바이노럴 신호에 대한 주파수 특성을 나타낸 것으로

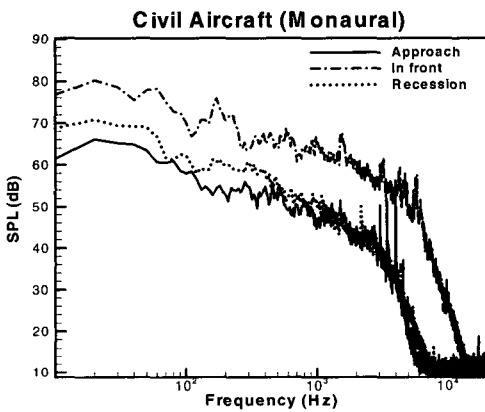


Fig. 7 Frequency spectrum of monaural civil aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

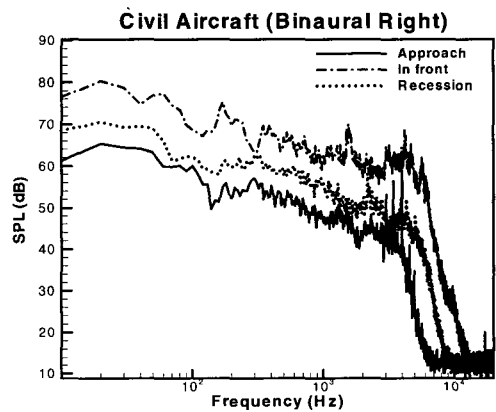


Fig. 9 Frequency spectrum of binaural right civil aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

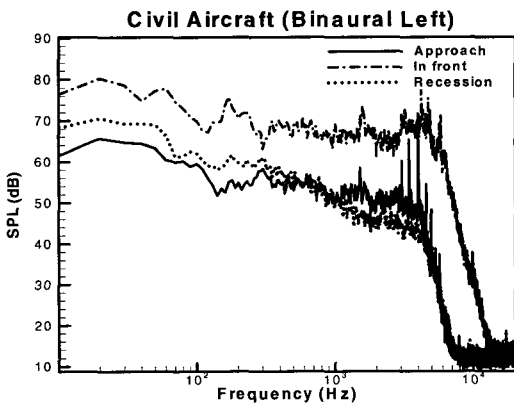


Fig. 8 Frequency spectrum of binaural left civil aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

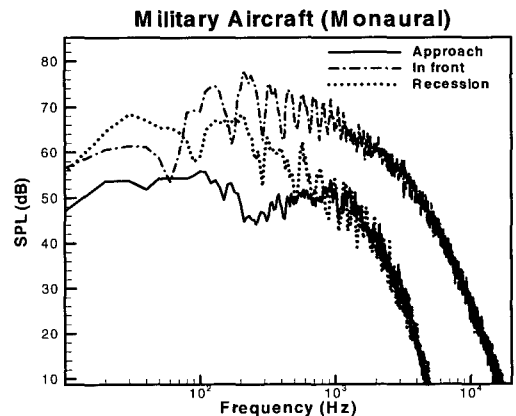


Fig. 10 Frequency spectrum of monaural military aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

4~5 kHz 대역까지의 광대역 썩 소음 특성을 가지며 민항기의 팬 소음에 비해서는 저주파 스펙트럼의 성분이 많음을 확인할 수 있다.

1 kHz 미만의 저주파 대역에서는 모노럴 신호와 바이노럴의 왼쪽, 오른쪽 신호의 레벨 차이가 거의 발생하지 않고 있으며 고주파 영역에서 컷바퀴 효과에 의한 증폭이 됨을 알 수 있다.⁽¹⁵⁾

음원의 위치에 따른 주파수 변화를 관찰해 보면, 음원이 가장 가까운 곳(그림에서 In front)에 위치했을 때와 접근 혹은 후퇴할 때의 레벨 차이는 고주파일 때(거리에 따른 감쇠비율이 크므로)가 가장 컸다.

(3) 기차

Fig. 13~15는 기차 소음의 모노럴 신호와 바이노럴 신호의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

Approach는 측정지점 통과하기 전 이고 Recession 상황은 객차의 후미가 측정지점을 통과할 때 이며, In front는 전두부(기관차)가 지나갈 때 이다. In front와 Recession 일 때에 비해서 Approach 상황에서 측정된 신호가 가장 저주파 영역이 뚜렷이 나타나고 있으며, 모노럴 신호를 보면 1 kHz 이내의 저주파 성분이 두드러지게 나타나지만, Binaural 신호에서는 2~4 kHz의 고주파 대역에서 신호가 증폭이 되고 있다.

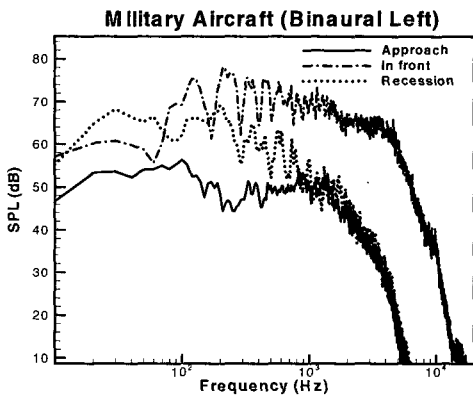


Fig. 11 Frequency spectrum of binaural left military aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

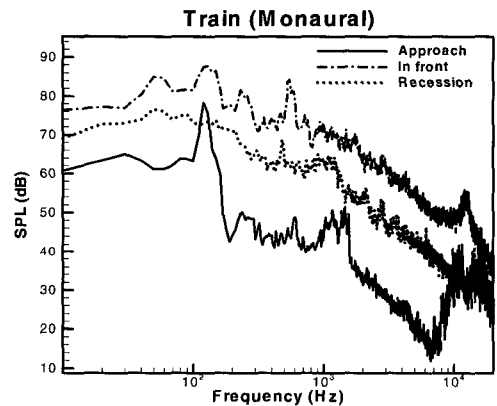


Fig. 13 Frequency spectrum of monaural train signal (Approach: solid line, In front: dashed line, Recession: dotted line)

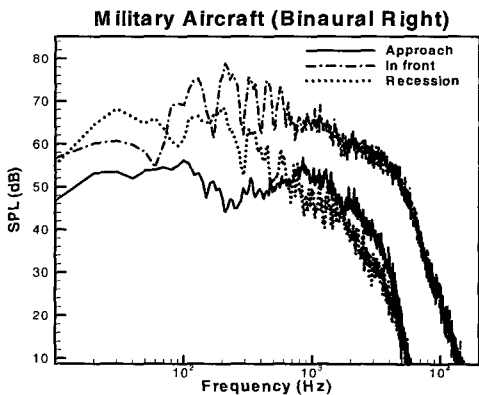


Fig. 12 Frequency spectrum of binaural right aircraft signal (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

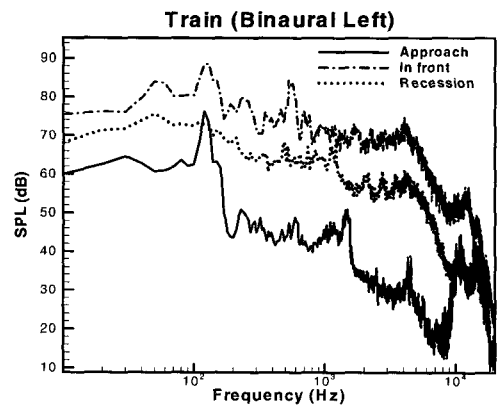


Fig. 14 Frequency spectrum of binaural left train signal (Approach: solid line, In front: dashed line, Recession: dotted line)

(4) 자동차

자동차 소음은 통과 차량 1대를 측정하는 것이 아니므로 다른 소음원들과는 달리 T1, T2라는 특정 시간에서 모노럴 신호와 바이노럴 왼쪽신호 그리고 바이노럴 오른쪽 신호를 비교해 보았다.

모노럴 신호와 바이노럴 신호의 주파수 대역별로 가장 차이가 나는 부분은 역시 2kHz이상의 고주파 대역에서 컷바퀴효과에 의해 바이노럴 신호가 증폭이 된다는 것이다.⁽¹⁵⁾

모든 소음원에서 공통적으로 드러나는 현상은 바이노럴 신호의 전체 음압레벨(overall sound pressure level)이 모노럴 신호보다 약간 더 크다는 것과 고주파 대역에서 컷바퀴에 의한 증폭효과로 인하여 소음

원의 위치에 따른 바이노럴 왼쪽과 오른쪽 신호의 차이가 많이 났다는 것을 들 수 있다. 이러한 주파수 대역의 레벨 변화는 사람의 주관적 반응에 적지 않은 영향을 미칠 것이라 생각된다. 이와 관련된 내용은 Part II: Annoyance를 참고하기 바란다.

4.3 Level Difference 스펙트럼 분석

Fig. 18~21은 바이노럴 신호 상호간의 주파수 대역별 음압레벨의 차이(interaural level difference)를 나타낸 것이다. 측정지점으로부터 소음원의 위치가 변함으로써 시간에 따른 바이노럴 신호의 오른쪽과 왼쪽의 음압레벨의 차이가 확연히 드러났고 또한, 고주파일수록 크게 나타났다.

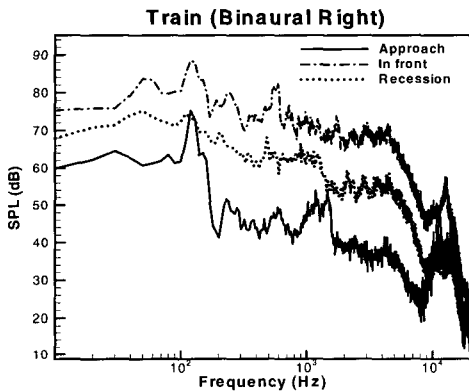


Fig. 15 Frequency spectrum of binaural right train (Approach: solid line, In front: dash dotted line, Recession: dotted line)

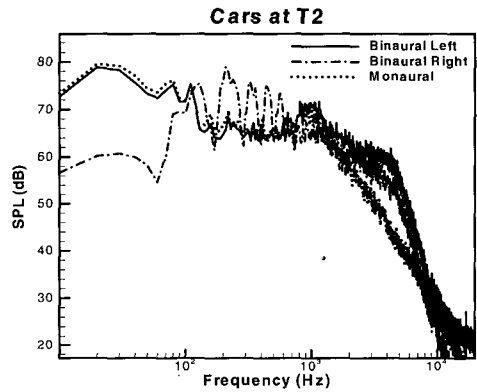


Fig. 17 Frequency spectrum of road traffic noise signal at time T2 (binaural left: solid line, binaural right: dash dotted line, monaural: dotted line)

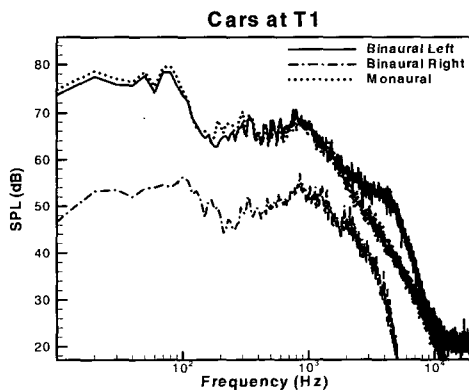


Fig. 16 Frequency spectrum of road traffic noise signal at time T1 (binaural left: solid line, binaural right: dash dotted line, monaural: dotted line)

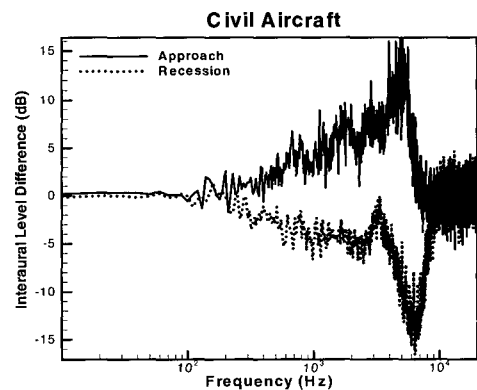


Fig. 18 Interaural level difference of civil aircraft (Approach: solid line, Recession: dotted line)

이러한 현상이 일어나는 이유로는 더미헤드 양쪽 귀에 있는 마이크로폰의 지향성과 소음원 자체의 소음 전파 방향성, 그리고 머리에 의한 음향학적 차폐

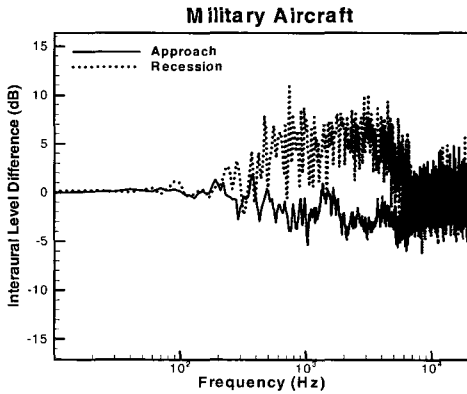


Fig. 19 Interaural level difference of military aircraft (Approach: solid line, Recession: dotted line)

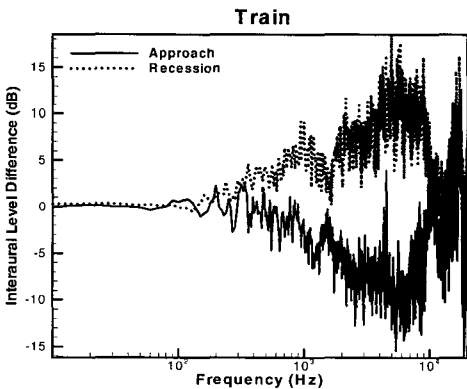


Fig. 20 Interaural level difference of train (Approach: solid line, Recession: dotted line)

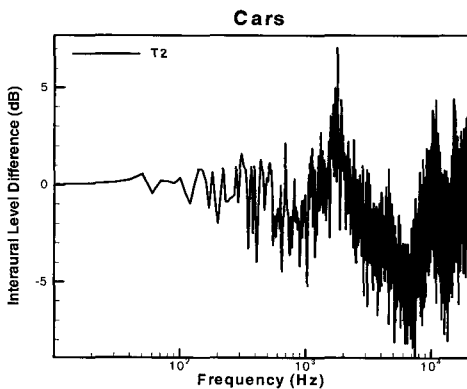


Fig. 21 Interaural level difference of road traffic noise at time T2

효과를 주된 요인으로 들 수 있다. 머리를 기준으로 소음원과 반대방향에 위치한 귀의 경우에는 이 두 가지 요인 이외에도 고주파의 빠른 감쇠율과 큰 투과손실, 그리고 소음원과 양쪽 귀 사이의 거리 차이 만큼에 해당하는 거리에 의한 부가적인 감쇠 등으로 인하여 더미헤드의 양쪽 귀에 들어오는 신호의 음압레벨 차가 발생하며, 특히 고주파 스펙트럼에 대한 음압레벨의 차이는 저주파 스펙트럼에 비하여 훨씬 크게 나타났다.

5. 결론

이 논문에서는 청감반응 실험을 통해 교통소음에 대한 반응을 알아 보기 위한 전 단계로 모노럴과 바이노럴 측정장치로 음을 측정하여 두 경우에 대하여 신호가 각각 어떻게 다른지에 대해 알아 보았다.

간단하게 앞에서 분석한 결과를 종합해보면 다음과 같다.

(1) Monaural 신호는 binaural 신호에 비해 음압레벨이 약간 낮았다.

(2) Binaural 신호는 콧바퀴 효과에 의해 2 kHz 이상의 고주파 대역에서 증폭이 일어났다.

(3) Binaural 신호는 monaural 신호에 비하여 상대적으로 고주파 성분을 많이 포함하고 있어서, 청감보정 A특성(A-weighting)을 적용한 소음의 값에는 monaural 신호의 음압레벨과는 차이가 컸다. 이는 곧 실제로 사람이 느끼는 소음에 대한 피폭량의 차이가 크다고 할 수 있다.

(4) Monaural 신호와 binaural 신호의 음압레벨 차이는 고주파 대역으로 갈수록 크게 나타났다.

(5) 소음원의 상대적 위치에 따라 binaural left와 right 신호는 머리에 의한 차폐효과와 음원으로 부터의 미소한 거리 차, 더미헤드 귀 양쪽의 마이크로폰의 지향성 등으로 인하여 레벨차이가 나타났다.

(6) Binaural left와 right 신호의 차이는 음원의 상대적 위치를 잘 반영해 주며, 고주파 대역으로 갈수록 레벨 차이가 크게 나타났다.

(7) Monaural 신호는 그 크기뿐만 아니라 주파수 특성에서 binaural 신호와 다르므로 실제 귀에서 일어나는 물리적 현상에 대한 정보를 충분히 포함하지 못한다.

후 기

이 연구는 한국환경기술진흥원, 차세대 핵심환경기술 개발 사업의 일환으로 연구된 것임.

참 고 문 헌

- (1) S. Kurra, M. Morimoto, Z. I. Maekawa, 1999, "Transport Noise Annoyance - A Simulated - Environment Study for Road, Railway and Aircraft Noises, Part 1: Overall annoyance," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 220, No. 2, pp. 251~278.
- (2) S. Kurra, M. Morimoto, Z. I. Maekawa, 1999, "Transport Noise Annoyance - A Simulated Environment Study for Road, Railway and Aircraft Noises, Part 2: Activity Disturbance and Combined Result," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 220, No. 2, pp. 279~295
- (3) E. ÖHSTRÖM, M. BJÖRKMAN and R. RYLANDER, 1980, "Laboratory Annoyance and Different Traffic Noise Sources," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 70, No. 3, pp. 334~341
- (4) H. Sakai, S. Sato, N. Prodi and R. Pompoli, 2001, "Measurement of Regional Environmental Noise by use of a PC-based System. An Application to the Noise Near Airport, "G. MARCONI" in Bologna," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 241, No. 1, pp. 57~68.
- (5) Markus Bodden, 1993, "The Importance of Binaural Hearing for Noise Validation", In: *Contributions to Psychological Acoustics. Results of 6th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. August Schick(ed.), 1. Ed., Oldenburg: Bibliotheksund Informati-onssystem der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, pp. 537~554.
- (6) J. Robert Stuart, 1998, "The Psychoacoustics of Multichannel Audio," JAS 98 Report.
- (7) Marty E. and Aimee L., Ferdinana W., Steghen A., Brenda M., 2003, "Development of an Efficient Binaural Simulation for the Analysis of Structural Acoustic Data," VIII International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, Southampton, UK.
- (8) Kistler, D. J. and Wightman, 1992, "A Model of Head-related Transfer Functions Based on Principal Components Analysis and Minimum-phase Reconstruction", *J. Acoust. Soc. Am.*, 91, pp. 1637~1647.
- (9) 조문재, 이용봉, 서재갑, 1996, "한국인의 표준 HATS 제작과 머리전달함수 측정 연구," 한국표준과학연구원, KRISS-96-124-IR.
- (10) 조문재, 서재갑, 1997, "더미헤드의 머리전달함수 측정 연구," 한국표준과학연구원, KRISS-97-107-IR.
- (11) ISO 1996-1: 1982, *Acoustics - Description and Measurement of Environmental Noise - Part 1: Basic Quantities and Procedures*.
- (12) ISO 1996-2 Amd. 1: 1998, *Acoustics - Description and Measurement of Environmental Noise - Part 2: Acquisition of Data Pertinent to Land use. Amendment 1*.
- (13) ISO 10843: 1997, *Acoustics - Methods for the Description and Physical Measurement of Single Impulses and Series of Impulses*.
- (14) Batteau, D. W., 1967, "The Role of the Pinna in Human Localization," *Proc. Roy. Soc. London B168*, pp. 158~180.
- (15) Blauert J., 1983, "Spatial Hearing," MIT Press, Section 2.