

HRTF 설정에 의한 Ortho Stereophonic System 의 컴퓨터 시뮬레이션 실험

임정빈\*, 강성훈\*\*, 김천택\*

\* 부산수산대학교 전자공학과, \*\* 한국전자통신연구소

Computer simulation experiment of Ortho Stereophonic System using assumed HRTF

Jeoungbin Yim\*, Seonghoon Kang\*\*, Chunduck Kim\*

\* National Fisheries University of Pusan, Dept. of Electronics Eng., \*\* ETRI

1. 서론

1966년에 Atal, Schroeder 가 2개의 스피커를 이용한 3차원 음장재생방식을 제안한 이후, 1983년에 Hamada 등은 원음장 재생장치의 실용화를 위한 OSS(Ortho Stereophonic System) 방식<sup>1),2),3)</sup>을 제안하였다. 이 방식은 dummy head microphone (DHM) 을 이용하여 수음하고, DHM 의 머리 회절전달함수(Head-Related Transfer Function, HRTF) 로 구성된 특수한 재생장치를 이용하는 방식이다.

본 연구에서는 OSS 재생장치를 하드웨어로 구성하기 위한 전단계로서, DHM 의 HRTF 를 가정하여 OSS 재생장치의 시스템함수 추정과 평가를 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 실험결과, 추정한 OSS 재생장치의 시스템함수는 가정한 HRTF 의 역 필터로 작용하므로써, 모델링한 OSS 재생장치에 설정한 입력신호가 충실하게 재생되었다. 또한, OSS 재생장치가 입력신호를 충실히 재생하기 위해서는 DHM 의 HRTF 를 정확히 측정해야함을 알 수 있었다.

2. OSS 의 기본 구성

OSS 방식의 기본구조를 Fig.1 에 표시하였다. 이 방식은 우선, 재생공간(sound reproducing field)에 있는 재생 스피커로부터 청취자 양귀까지의 위치특성인 HRTF 를 측정한다. OSS 재생장치는 HRTF 를 역 필터처리하는 시스템함수를 이용하여 원음장(original sound field)에서 DHM 으로 수음된 음을 보정한 후 재생하므로써, 공간이 서로 다른 곳에서도 원음장에서의 음을 그대로 청취할 수 있는 것이다.

역 필터 처리는 Fig.2 에 표시한 바와같이, 재생공간을 LTIS  $H(z)$  라 할 때, 별도의 LTIS  $G(z)$  을 전단에 접속시켜서 입력  $u(n)$  에서 출력  $y(n)$  까지의

전체 시스템의 임펄스 응답을 단위샘플( $\delta(n)$ ) 이 되도록 하는 것이다. 따라서, 식 (1) 의 matrix 식을 만족하는  $H(z)$  가 단위행렬 E 가 되도록 하는 역 필터 A 로서 정의할 수 있다.

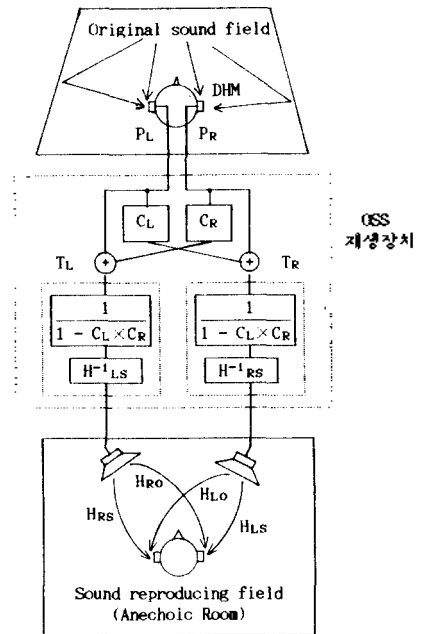


Fig.1 OSS 방식의 기본구조

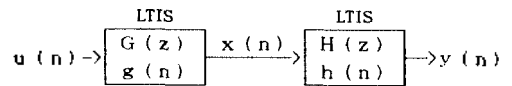


Fig.2 역 필터 처리

$$HA=E \quad (1)$$

여기서,

$$H = \begin{bmatrix} H_{Ls}(z) & H_{R0}(z) \\ H_{L0}(z) & H_{Rs}(z) \end{bmatrix}, \quad E: \text{단위행렬}$$

행렬 H의 각 요소는 Fig.1에 표시한 바와같이, 무향실에 배치한 2개의 재생용 loudspeaker의 입력단(L, R)에서 DHM 출력단(PL, PR)까지로 정의된다.

식(1)에 의하여 역 필터 A를 식(2)와 같이 H의 역행렬  $H^{-1}$ 로 표시할 수 있고 (H는 정칙행렬(nonsingular matrix)), A를  $A_T$ 와  $A_C$ 의 증속치로서 표현할 수 있다. 여기서,  $A_T$ 는 역전달 특성에 의한 보정을 의미하고,  $A_C$ 는 cross talk 억제에 의한 보정을 의미한다.

$$A = H^{-1} = A_T A_C \quad (2)$$

여기서,

$$A_T = \begin{bmatrix} T_L(z) & 0 \\ 0 & T_R(z) \end{bmatrix}, \quad A_C = \begin{bmatrix} 1 & C_R(z) \\ C_L(z) & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C_L(z) = -\frac{H_{L0}(z)}{H_{Ls}(z)}, \quad C_R(z) = -\frac{H_{R0}(z)}{H_{Rs}(z)} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} T_L(z) &= -\frac{1}{1 - C_L(z)C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{Ls}(z)} \\ T_R(z) &= -\frac{1}{1 - C_L(z)C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{Rs}(z)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

### 3. 모델링 OSS 재생장치의 시스템함수

이 연구는 컴퓨터 시뮬레이션으로 OSS 재생장치를 검토한 것이다. 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 HRTF는 난수(random number)와 지수함수를 곱한 신호를 128 point로 샘플링하여, Blackman 상함수를 이용한 32차의 4 KHz Lowpass FIR 필터와 convolution 연산으로 필터링한 후, FFT 처리하여 주파수함수로 변환하였다.<sup>4),5)</sup> 이 처리과정을 식(6)~식(9)와 같이 나타내었다. 여기서,  $h_{ls}, h_{ro}, h_{rs}, h_{lo}$ 는 가정한 HRTF의 샘플링신호,  $h_{lpf}$ 는 저역통과 필터의 임펄스 레스폰스, \*는 convolution 연산을 표시한다.

$$H_{Ls} = \text{FFT} [h_{ls} * h_{lpf}] \quad (6)$$

$$H_{R0} = \text{FFT} [h_{ro} * h_{lpf}] \quad (7)$$

$$H_{Rs} = \text{FFT} [h_{rs} * h_{lpf}] \quad (8)$$

$$H_{L0} = \text{FFT} [h_{lo} * h_{lpf}] \quad (9)$$

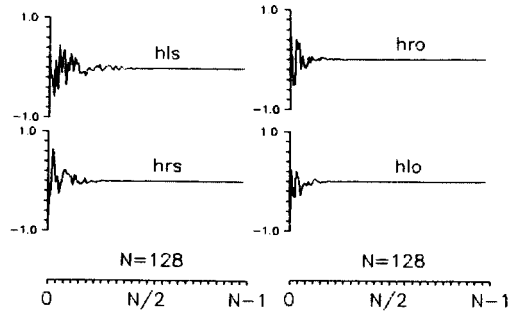


Fig.3 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 HRTF

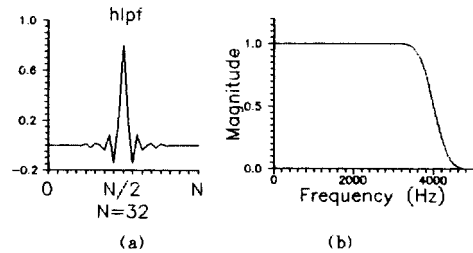


Fig.4 저역통과 FIR 필터의 응답특성(a), 전폭특성(b)

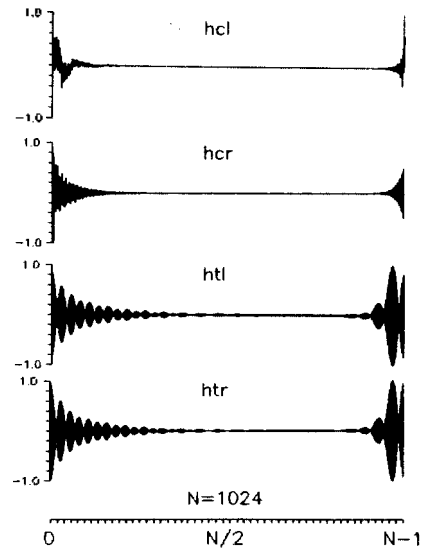


Fig.5 모델링 OSS 재생장치의 시스템함수

Fig.3은 가정한 HRTF의 샘플링신호,  $h_{ls}, h_{ro}, h_{rs}$ .

$h_{10}$  를 나타내고, Fig.4 는 저역통과 FIR 필터의 진폭특성과 응답특성이다. Fig.5 는 시스템함수( $C_L(z), C_R(z), T_L(z), T_R(z)$ ) 를 식(4),(5) 로 부터 계산한 후, IFFT 처리하여 규격화한 것을  $h_{c1}, h_{cR}, h_{t1}, h_{tR}$  로 나타낸 것이다.

#### 4. 모델링 OSS 재생장치의 시스템 함수 평가

시스템 함수를 평가하기 위하여, OSS 재생장치의 입력을  $P = (P_L, P_R)^t$  로 하고, OSS 재생장치를  $A$ , 재생음장(무향실)에서 청자의 위치에 설치한 DHN 의 출력을  $V = (V_L, V_R)^t$  ( $t$  는 전치(transposition) 를 표시) 로 표시하면,

$$V = HAP \quad (10)$$

$$= \begin{bmatrix} W_L + U_L \\ W_R + U_R \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서,

$$W_L = P_L (H_{Ls}T_L + H_{R0}T_R C_L) \quad (12)$$

$$U_L = P_R (H_{Ls}T_L C_R + H_{R0}T_R) \quad (13)$$

$$W_R = P_R (H_{Rs}T_R + H_{L0}T_L C_R) \quad (14)$$

$$U_R = P_L (H_{Rs}T_R C_L + H_{L0}T_L) \quad (15)$$

가 성립된다. 만약 재생장치  $A$  가 이상적이라면, 식(1) 에 의하여 식(10) 은 식(16) 과 같이 나타낼 수 있고, 입력  $P$  를 Table 1 과 같이 설정하면, 식(12)~식(15) 는 식(17) 이 성립한다.

$$V = P \quad (16)$$

$$W_L = W_R = 1, U_L = U_R = 0 \quad (17)$$

식(17) 을 주파수특성으로서 본다면,  $W_{L,R}$  는 원하는 출력으로서 그 평탄성(잔폭, 위상)을 표시하고,  $U_{L,R}$  는 원하지 않는 출력으로서 그 역량의 크기를 표시한다.

Table 1 시스템 함수 평가를 위한 입/출력의 설정

output input	$V_L$	$V_R$
$P_L = 1$ $P_R = 0$	Wanted (L)	Unwanted (R)
$P_L = 0$ $P_R = 1$	Unwanted (L)	Wanted (R)

Fig.6 은 식(10) 으로부터, 모델링한 OSS 재생장치의 입력신호( $P_L, P_R$ )를  $I_L$  과  $I_R$  로 하였을 때, OSS 재생장치를 통하여 재생된 출력을  $V_L$  과  $V_R$  로 나타낸 것이다.

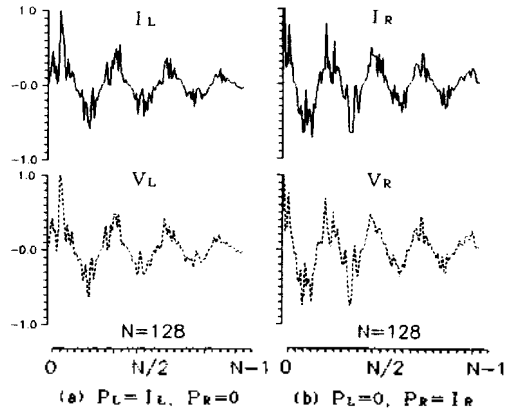


Fig.6 모델링 OSS 재생장치의 입,출력 특성

Fig.6 의 입력신호( $P_L, P_R$ ) 는 Blackman 창함수를 이용한 32차의 4 KHz Lowpass FIR 필터로 필터링하여 이용하였다. Fig.6 으로부터, 모델링 OSS 재생장치의 시스템함수가 HRTF 의 역필터로 작용하여 입력신호가 충실히 재생되었음을 알 수 있다.

Fig.7 은, Fig.6 과 같은 입,출력 특성을 갖는 모델링 OSS 재생장치의 시스템함수를 식(12)~식(15) 로 부터 평가한 것이다. Fig.7 으로부터,  $W_L$  과  $W_R$  은  $U_R$  과  $U_L$  에 대하여 대략 150[db] 의 차를 갖고있으므로  $U_R$  과  $U_L$  이 충분히 억압되고 있음을 알 수 있다.

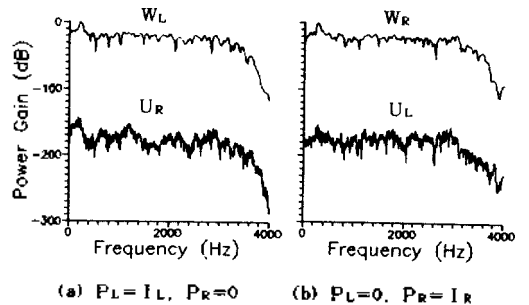


Fig.7 모델링 OSS 재생장치의 시스템함수 평가

#### 5. 결 론

3차원 음장재생방식을 실현하는 OSS 재생장치를 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하였다. 실험은, 가정한 HRTF 로 부터

OSS 재생장치의 시스템함수를 추정한 후, OSS 재생장치를 모델링하고, 평가실험식에 따라 추정된 시스템함수를 평가하였다.

평가결과, 컴퓨터 시뮬레이션으로 추정된 OSS 재생장치의 시스템함수는 가정한 HRTF 의 덕 필터로 작용하므로써, 모델링한 OSS 재생장치에 설정한 입력신호가 충실하게 재생되었다. 또한, OSS 재생장치가 입력신호를 충실히 재생하기 위해서는 DHF 의 HRTF 를 정확히 측정해야함을 알 수 있었다.

## 6. 참고문헌

- 1) 浜田晴夫, "基準的收音·再生を目的する Orthostereophonic System の構成," 日本音響學會誌 39卷 5號, 1983
- 2) H. Hamada, N. Ikeshoji, Y.Ogura and T. Miura, "Relation between physical characteristics of orthostereophonic system and horizontal plane localization," J. Acoust. Soc. Jpn.(E) 6, 1985
- 3) K. Okabe, "Orthostereophonic System を用いた水平面定位試験," 日本音響學會誌 44卷 4號, 1988
- 4) 김천덕, 安倍正人, 城戸健一, "DFT 를 이용한 잔향이 긴 음향전달계의 임펄스 레스폰스 추정에 관한 연구," 韓國音響學會誌 7권 2호, 1988
- 5) 鈴木陽一 外 2人, "音響系の傳達函數の模擬をめぐって (その 2)," 日本音響學會誌 45卷 1號, 1989