

# 원음장 재생을 위한 OSS 등화기의 모델링에 관한 컴퓨터 시뮬레이션

임 정 빈\* · 김 천 덕\*\*

Computer Simulation on the Modelling of OSS Equalizer for the Reproduction  
of Original Sound Field

*Jeong-Bin Yim · Chun-duck Kim*

## 〈 目 次 〉

Abstract

1. 서 론

2. OSS의 기본구성

2.1 OSS의 구성

2.2 시스템함수의 FIR 근사

3. OSS 등화기의 모델링

3.1 HRTF의 설정

3.2 시스템함수의 추정

4. 모델링 OSS 등화기의 평가

4.1 평가 방법

4.2 평가 결과

5. 결 론

참고문헌

## Abstract

This computer simulation is the basic research for realize a real-time hardware of the reproduction system in original sound field with two loudspeakers based on the OSS(Ortho Stereophonic System) method which was proposed by Hamada of Japan in 1983.

Through the computer simulation, presumed the system function of OSS equalizer using HRTF(Head Related Transfer Function), constructed the model of OSS equalizer and, evaluated the modelling OSS equalizer by evaluation formulae.

The obtained results are summarized as follows :

1) By the modelling OSS equalizer operate as inverse filter of HRTF, an input signal reproduced effec-

\* 부산수산대학교 대학원 박사과정 전자통신학과

\*\* 부산수산대학교 전자공학과

tively.

- 2) Known that the real-time hardware of OSS equalizer can be made by the fast convolution between the impulse response of OSS equalizer and input speech signal.
- 3) Since the system function of OSS equalizer presumed from HRTF, the study on the measuring of HRTF have to proceed.

## 1. 서 론

최근, 음향신호 처리분야에서 연구되고 있는 원음장 재생에 관한 연구 목적은 기존의 오디오 장치에 채택되고 있는 Surround stereo 의 완벽한 구현, TV 와 영화에서의 효과음향 제작, 각종 소음의 평가, 음장통신의 실현, 자동차 실내 음장의 시뮬레이션을 위한 것이라 할 수 있다.<sup>1), 2), 3)</sup>

원음장 재생에 관한 연구는 기존의 오디오 방식에서 채택하고 있는 2채널, 2스피커에 의한 방법이 주류를 이루고 있으며, 이러한 2개의 스피커를 이용한 원음장 재생에 관한 연구는, 1966 년에 독일의 Atal 과 Schroeder가 3차원 음장 재생방식을 제안한 이후, 1983 년에는 일본의 Hamada 등이 이 방식의 실용화를 위한 OSS(Ortho Stereophonic System) 방식<sup>4), 5)</sup>을 제안하기에 이르렀다.

본 연구는 OSS 방식에 의한 원음장 재생장치의 하드웨어를 구성하기 위한 전단계로서, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 OSS 등화기의 시스템함수를 재생공간의 음향전달특성인 HRTF(Head Related Transfer Function) 로 부터 추정하고, OSS 등화기를 모델링하여 평가식에 따라 평가한 실험이다. 평가결과, 모델링 OSS 등화기가 HRTF 의 역필터로 작용하므로써 입력신호가 충실히 재생된을 알 수 있었고, 원음장 재생장치의 실시간처리는 시스템함수의 임펄스 레스폰스와 입력 음성신호와의 고속 콘볼루션 연산으로 실현될수 있음을 알 수 있었다. 또한, 시스템함수는 HRTF 로 부터 추정되므로 정확하게 HRTF 를 측정하는 연구가 선행되어야 함을 알 수 있었다.

## 2. OSS 의 기본 구성

### 2.1 OSS 의 구성

OSS 방식의 기본구성을 그림.1 에 표시하였다.

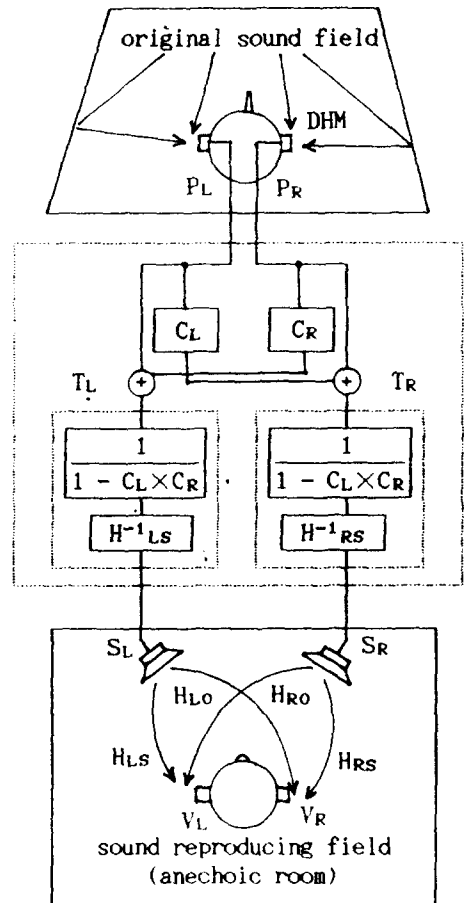


그림.1. OSS 방식의 기본구성

이 방식은 우선, 재생공간(sound reproduction field)에 있는 스피커로부터 청취자 양 귀까지의 음향전달특성인 HRTF를 측정하여 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하게 된다. 추정한 시스템함수로 모델링된 OSS 등화기는 원음장(original sound field)에서 DHM(Dummy Head Microphone)이라는 특수한 장치로 수음된 음을 보정하여 재생하게 된다. 그 결과 재생공간에 있는 청취자는 마치 원음장에서 음을 청취하는 것과 같은 음장감을 느끼게 되는 것이다.

그림.1에서,  $P_L$ 과  $P_R$ 은 원음장에 있는 DHM의 좌측 마이크로폰과 우측 마이크로폰을 통하여 수음된 전기적 음향신호이고,  $C_L$ 과  $C_R$ 은 재생공간에 있는 좌측 스피커에서 청취자의 우측 귀로 전달되는 재생음의 cross talk 성분을 억제하기 위한 함수와, 재생공간에 있는 우측 스피커에서 청취자의 좌측 귀로 전달되는 재생음의 cross talk 성분을 억제하기 위한 함수이다. 또한,  $T_L$ 과  $T_R$ 은 재생공간에 있는 좌측 스피커에서 청취자의 좌측 귀로 전달되는 재생음의 전달특성을 보정하기 위한 함수와, 우측 스피커에서 청취자의 우측 귀로 전달되는 재생음의 전달특성을 보정하기 위한 함수이다. 그리고,  $H_{LS}$ ,  $H_{LO}$ ,  $H_{RS}$ ,  $H_{RO}$ 는 그림.1에 표시한 바와 같이 스피커의 위치와 청취자의 귀 위치와의 대응상태에 따라 구분한 음향전달함수로서 OSS 등화기를 구성하기 전에 측정한다.

OSS 등화기의 시스템함수를 추정하기 위한 이론식<sup>6,7)</sup>은 그림.2에 표시한 역필터처리로 부터 유도할 수 있다. 역필터처리는 HRTF로 나타낼 수 있는 재생공간을 LTIS  $H(z)$ 라 할 때, 별도의 LTIS  $G(z)$ 을 전단에 접속시켜서 입력  $u(n)$ 에서 출력  $y(n)$ 까지의 전체 시스템의 임펄스응답이 단위샘플( $\delta(n)$ )이 되도록 하는 것이다.

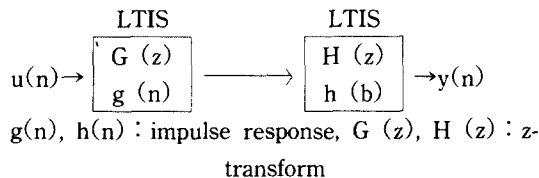


그림.2. 역필터처리

따라서 LTIS  $G(z)$ 라고 하는 것은 식(1)을 만족하는 역필터 A로서 정의할 수 있다.

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

여기서,

$$H = \begin{bmatrix} H_{LS}(z) & H_{RO}(z) \\ H_{LO}(z) & H_{RS}(z) \end{bmatrix}, E : \text{단위행렬}$$

행렬 H의 각 요소는 그림.1에 표시한 바와같이 재생음장(무향실)에 배치한 2개의 재생 스피커의 입력단( $S_L, S_R$ )에서 청취자의 위치에 설치한 DHM의 출력단( $V_L, V_R$ )까지로 정의되는 특성이다.

식(1)에 의하여 역필터 A를 식(2)와 같이 H의 역행렬( $H^{-1}$ )로서 표시할 수 있고 (H는 정칙(nonsingular matrix)이라 가정), A를  $A_T$ 라는 역전달 특성에 의한 보정과,  $A_C$ 라는 cross talk 억제를 위한 보정의 종속처리로서 표현할 수 있다.

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

여기서,

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

$$C_L(z) = -\frac{H_{LO}(z)}{H_{LS}(z)}, C_R(z) = -\frac{H_{RO}(z)}{H_{RS}(z)} \dots\dots\dots (4)$$

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

식(4), (5)로 부터 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하게 되며, 이러한 시스템함수는 하드웨어를 구성하기 위하여 FIR로 근사할 필요가 있다.

### 2.2 시스템함수의 FIR 근사

식(5)에 표시한  $T_L(z)$ 만을 단위원상 등간격인 N개의 점으로 평가하면, 다음식(6)의 주기수열  $\tilde{T}_L(k)$ 을 얻는다.

$$\tilde{T}_L(k) = T_L(z) \Big|_{z=W_N^{-k}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} t_L(n) W_N^{kn} \dots (6)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} \tilde{t}_L(n) W_N^{kn} \dots\dots (7)$$

단,  $W_N = \exp(-j2\pi/N)$

식(7)의  $\tilde{t}_L(n)$ 은 식(8)로 정의되는 혼성수열 (aliased sequence) 이고,

$$\tilde{t}_L(n) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} t_L(n+rN) \dots\dots\dots (8)$$

N을 충분히 크게하면, 실용상 충분한 정도로 다음과 같은 근사가 성립한다.

$$t_L(n) \simeq \tilde{t}_L(n) \begin{cases} -M \leq n \leq M \\ M \ll N \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, 주기수열  $\tilde{T}_L(k)$ 의 Fourier 급수 전개 형태로 되어 있는 식(6)을 유한의 Fourier 급수로 전개하면, 식(10)이 되고,

$$\tilde{T}_L(k) = \sum_{n=-M}^M t_L(n) W_N^{kn} \dots\dots\dots (10)$$

식(9), (10)에 의하여  $\tilde{T}_L$ 는 식(11)과 같은 최적의 2승근사로 나타낼 수 있다.

$$\tilde{T}_L(k) \simeq \sum_{n=-M}^M \tilde{t}_L(n) W_N^{kn} \dots\dots\dots (11)$$

또한, 식(11)로부터  $T_R(z)$ 에 대한 주기수열  $\tilde{T}_R(k)$ 도 식(12)와 같이 최적의 2승근사로 나타낼 수 있고,

$$\tilde{T}_R(k) \simeq \sum_{n=-M}^M \tilde{t}_R(n) W_N^{kn} \dots\dots\dots (12)$$

$C_L(z)$ ,  $C_R(z)$ 도 식(13), (14)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서,  $\tilde{t}_R$ ,  $\tilde{c}_L$ ,  $\tilde{c}_R$ 은 식(8)과 같이 정의되는 혼성수열이다.

$$\tilde{C}_L(k) \simeq \sum_{n=-M}^M \tilde{c}_L(n) W_N^{kn} \dots\dots\dots (13)$$

$$\tilde{C}_R(k) \simeq \sum_{n=-M}^M \tilde{c}_R(n) W_N^{kn} \dots\dots\dots (14)$$

### 3. OSS 등화기의 모델링

#### 3.1 HRTF의 설정

그림.3은 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 시계열

의 HRTF로서,  $\pm 1.0$ 에서 0.0까지 지수함수적으로 감쇠하는 신호를 K(K=128)점으로 샘플링하여 각각  $h_{ls}$ ,  $h_{lo}$ ,  $h_{rs}$ ,  $h_{ro}$ 로 하였다. 여기서,  $h_{ls}$ 와  $h_{rs}$ 는  $H_{LS}$ 와  $H_{RS}$ 로 설정하기 위한 신호이고,  $h_{lo}$ ,  $h_{ro}$ 는  $H_{LO}$ 와  $H_{RO}$ 로 설정하기 위한 신호이다.

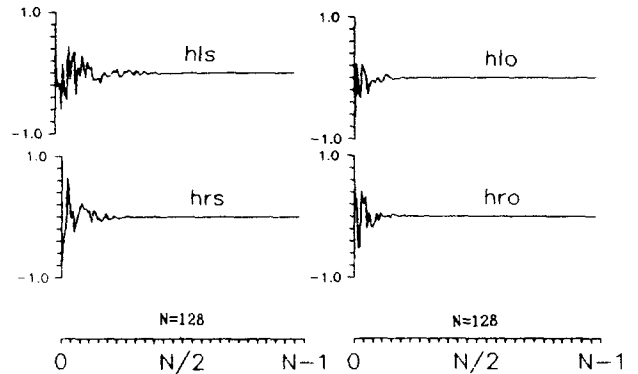


그림.3 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 HRTF

설정한 시계열의 HRTF는 그림.4와 같은 Blackman 창함수를 이용한 32차의 4 KHz 저역통과 FIR 필터와 convolution 연산으로 필터링하고, N(N=512)점으로 FFT 처리하여  $H_{LS}$ ,  $H_{RO}$ ,  $H_{LO}$ ,  $H_{RS}$ 로 변환한 후 시스템함수 추정에 이용하였다.

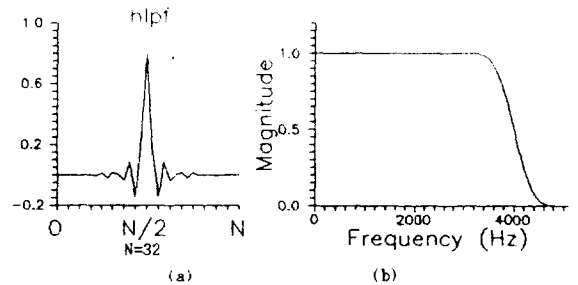


그림.4 저역통과 FIR 필터의 응답특성(a), 진폭 특성(b)

이상의 계산과정을 식(15)~식(18)에 나타내었다. 여기서,  $h_{lpf}(J)$ 는 J(J=32)차 저역통과 FIR 필터의 응답특성함수이고, \*는 convolution 연산을 나타낸다.

$$H_{LS}(N) = FFT [h_{ls}(K) * h_{lpf}(J)] \dots\dots\dots (15)$$

$$H_{LO}(N) = FFT [h_{lo}(K) * h_{lpf}(J)] \dots\dots\dots (16)$$

$$H_{RS}(N) = FFT [h_{rs}(K) * h_{lpf}(J)] \dots\dots\dots (17)$$

$$H_{RO}(N) = FFT [h_{ro}(K) * h_{lpf}(J)] \dots\dots\dots (18)$$

여기서, 저역통과 FIR 필터의 차단주파수를 4 KHz 로 한것은, 인간의 가청범위는 20Hz~20KHz 이지만 음악의 경우는 4~10KHz 의 범위에 걸쳐 있고, 대략 4KHz 전후의 음이 시스템을 구성한 후 듣고 평가하기가 용이하다<sup>8),9)</sup>는 것과, 광범위한 주파수대역의 신호를 처리하는 하드웨어 구성에 있어서는 A/D 변환기의 분해능, 신호처리 부분에서 레지스터 길이와 연산오차, 연산시간 등을 고려할 필요가 있기 때문에 우선, 본 컴퓨터 시뮬레이션에서는 임의적으로 차단주파수를 4 KHz 로 정하였고, 그 이상의 주파수대역은 하드웨어를 구성한 후 검토할 예정이다.

그림.5 는 4 개의 HRTF( $H_{LS}$ ,  $H_{LO}$ ,  $H_{RS}$ ,  $H_{RO}$ )를 설정하기 위한 프로그램의 순서도이다. READ 문에서는 HRTF 의 데이터 수(K), HRTF 의 감쇄율(LS, LO, RS, RO), FIR 필터계수의 길이(J) 와 차단주파수(FREQ)를 읽고, 다중 DO 루프문에서는 평균치 0.0인 랜덤함수에 적당한 값을 곱하여 ±1.0에서 0.0까지 지수함수적으로 감쇠하는 HRTF 를 계산하여 FIR 필터와의 convolution 연산을 통해서 필터링한 후, OSS 등화기의 시스템함수 추정에 이용할 HRTF 를 출력한다. SUBROUTINE RANDOM 에서는 ISEED 값을 초기값으로 1.0 에서 0.0 까지의 랜덤함수를 출력하고, SUBROUTINE FILTER 에서는 Blackman 창함수를 이용한 4KHz 저역통과 FIR 필터를 설계한다. 또한, SUBROUTINE CONVOLUTION 에서는 시계열의 HRTF 와 FIR 필터를 SUBROUTINE FFT 프로그램을 이용하여 FFT 처리한 후 convolution 연산을 실행한다.

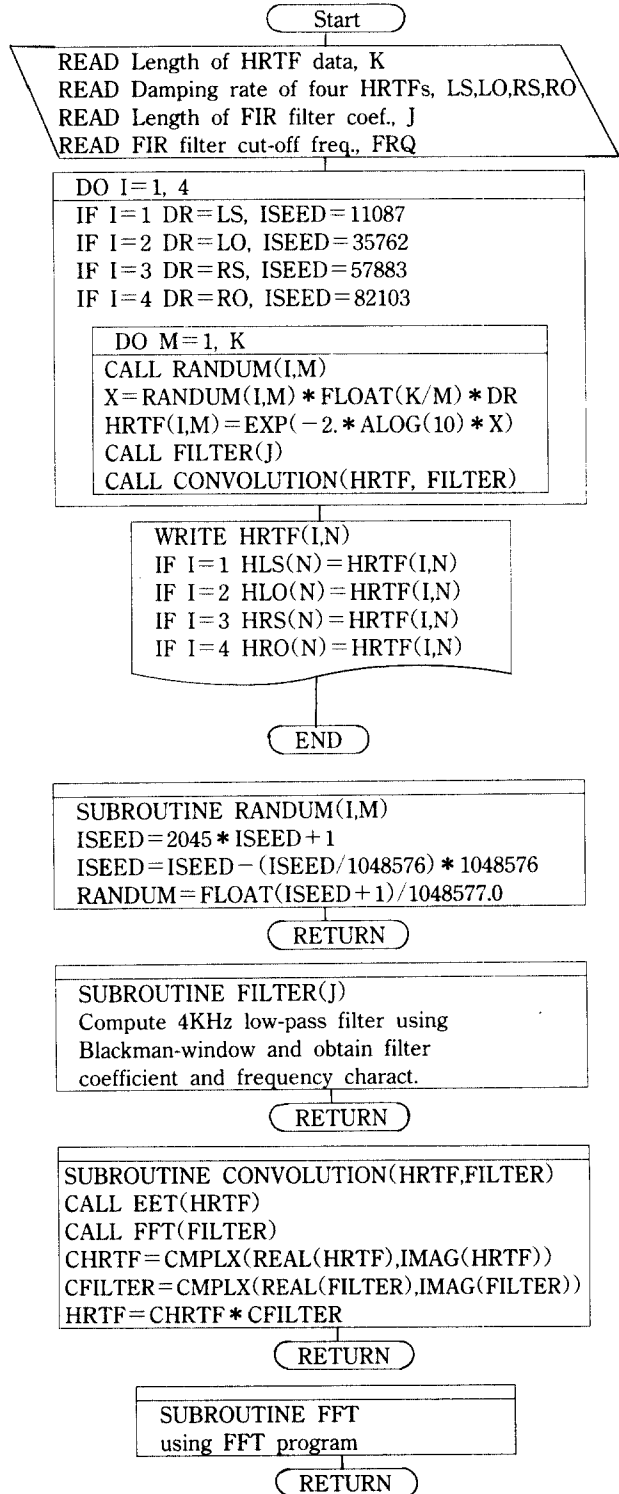


그림.5. HRTF 설정을 위한 순서도

3.2 시스템함수의 추정

그림.6 은 설정한 HRTF 를 이용하여 OSS 등화기의 시스템함수( $C_L, C_R, T_L, T_R$ )를 추정한 결과로서, 식(4), (5) 를 이용하여 계산한 후,  $N(N=1024)$ 점으로 IFFT 처리하고, 규격화 하여 시계열의  $h_{cl}, h_{cr}, h_{tl}, h_{tr}$ 으로 나타낸 것이다.<sup>10), 11)</sup> 하드웨어를 구성할 때는 이러한 시계열의 시스템함수(즉, 임펄스 레스폰스) 와 입력신호를 convolution 연산하여 신호를 재생하게 된다.

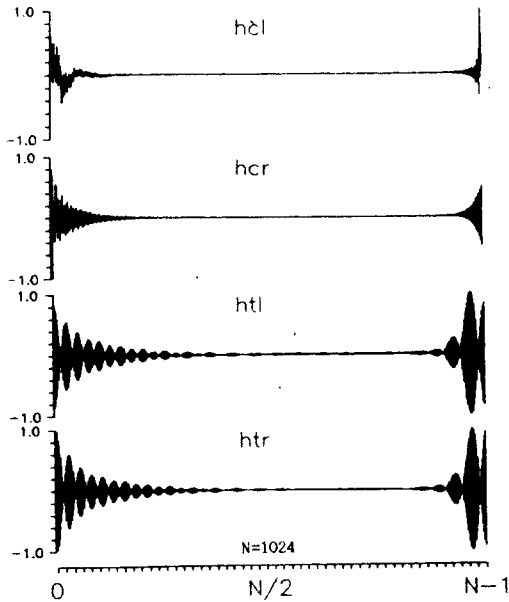


그림.6. 추정된 OSS 등화기의 시스템함수

그림.7 은 설정한 HRTF 를 이용하여 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하는 순서도로서, READ 문에서는 4 개의 HRTF 를 읽고, OSS 등화기의 시스템함수를 식(4), (5) 로 부터 계산하게 된다. 계산된 결과는 시계열의 시스템함수로 변환하기 위하여 IFFT 처리하고, 출력과정에서 최대치로 규격화 하여 출력한다.

여기서, OSS 등화기의 하드웨어를 실시간으로 구성하는 것을 고려할 때, OSS 등화기의 출력을  $V_i(t), V_r(t)$ 로 하고, 입력을  $I_i(t), I_r(t)$ 로 하면, 출력은 식(19), (20) 에 표시한 바와 같이 추정한다

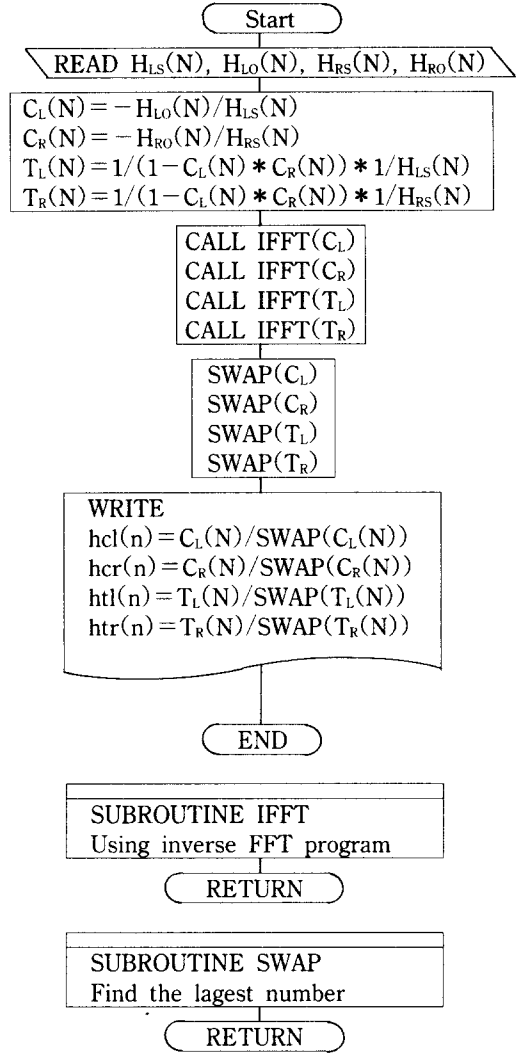


그림.7. OSS 등화기의 시스템함수 추정을 위한 순서도

시계열의 시스템함수와 입력신호와의 convolution 연산으로 계산됨을 알 수 있다. 즉, 하드웨어의 실시간 구성은 고속 convolution 연산으로 실현될 수 있음을 의미한다. 여기서, \* 는 convolution 연산을 의미한다.

$$V_i(t) = I_r(t) * h_{tr}(n) + h_{tr}(n) * [I_i(t) * h_{cl}(n)] \dots \dots \dots (19)$$

$$V_r(t) = I_i(t) * h_{tl}(n) + h_{tl}(n) * [I_r(t) * h_{cr}(n)] \dots \dots \dots (20)$$

### 4. 모델링 OSS 등화기의 평가

#### 4.1 평가 방법

모델링 OSS 등화기를 평가하기 위하여, 모델링 OSS 등화기의 입력을  $P=(P_L, P_R)$ 로 하고, 모델링 OSS 등화기를 A, 재생음장(무향실)에서 청취자의 위치에 DHM을 설치하여 그 출력을  $V=(V_L, V_R)$  (t 는 전치(transposition) 를 표시) 로 하면, 식(21)이 성립하고, 이 식은 식(22)와 같이 재생음장에서 듣기원하는 신호(W, Wanted 의미)와 원하지 않는 신호(U, Unwanted 의미)로 구분하여 표시할 수 있다.<sup>12)</sup>

$$V=HAP \dots\dots\dots (21)$$

$$= \begin{bmatrix} W_L+U_L \\ W_R+U_R \end{bmatrix} \dots\dots\dots (22)$$

여기서,  $W_L, W_R, U_L, U_R$ 은 원음장에 있는 DHM의 좌측과 우측 마이크로폰에 입력된 신호가 모델링 OSS 등화기를 통하여 재생될 때 재생음장에 있는 DHM 좌측과 우측 마이크로폰에 재생되는 신호로서,  $W_L$ 은 원음장에 있는 DHM의 좌측 마이크로폰에 입력된 신호가 재생음장에 있는 DHM의 좌측 마이크로폰에 재생되는 신호,  $U_R$ 은 원음장에 있는 DHM의 좌측 마이크로폰에 입력된 신호가 재생음장에 있는 DHM의 우측 마이크로폰으로 cross-talk 되는 신호,  $W_R$ 은 원음장에 있는 DHM의 우측 마이크로폰에 입력된 신호가 재생음장에 있는 DHM의 우측 마이크로폰에 재생되는 신호,  $U_L$ 은 원음장에 있는 DHM의 우측 마이크로폰에 입력된 신호가 재생음장에 있는 DHM의 좌측 마이크로폰으로 cross-talk 되는 신호를 나타낸다. 이러한 관계는 그림.1로부터 다음과 같은 식(23)~식(26)으로 나타낼 수 있다.

$$W_L=P_L(H_{LS}T_L+H_{RO}T_R C_L) \dots\dots\dots (23)$$

$$U_L=P_R(H_{LS}T_L C_R+H_{RO}T_R) \dots\dots\dots (24)$$

$$W_R=P_R(H_{RS}T_R+H_{LO}T_L C_R) \dots\dots\dots (25)$$

$$U_R=P_L(H_{RS}T_R C_L+H_{LO}T_L) \dots\dots\dots (26)$$

만약, 모델링한 등화기 A가 이상적이라면, 식(1)에 의하여 식(21)은 식(27)과 같이 되고, 입력

P를 표.1과 같이 설정하면, 식(23)~식(26)은 식(28)과 같이되므로 재생음장에 있는 청취자는 cross-talk 성분이 완전히 억제된 음을 듣게된다.

$$V=P \dots\dots\dots (27)$$

$$W_L=W_R=1, U_L=U_R=0 \dots\dots\dots (28)$$

그리고, 식(28)을 주파수특성에서 본다면,  $W_L$ 과  $W_R$ 은 원하는 출력의 크기와 평탄성을,  $U_L$ 과  $U_R$ 은 원하지 않는 출력의 크기와 평탄성을 표시하게 된다. 따라서 모델링한 OSS 등화기는  $W_L$ 에 대한  $U_L$ 의 크기와 평탄성,  $W_R$ 에 대한  $U_R$ 의 크기와 평탄성으로 부터 평가할 수 있다.

표.1. 모델링 OSS 등화기의 평가를 위한 입/출력 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)

#### 4.2 평가 결과

그림.8의 결과는 평가 방법으로 제시한 평가식(23)~식(26)을 이용하여 모델링 OSS 등화기의 특성을 주파수축상으로 나타낸 것이고, 그림.9의 결과는 각각의 W와 U 신호를 합하여 시계열의 재생신호로 나타낸 것이다.

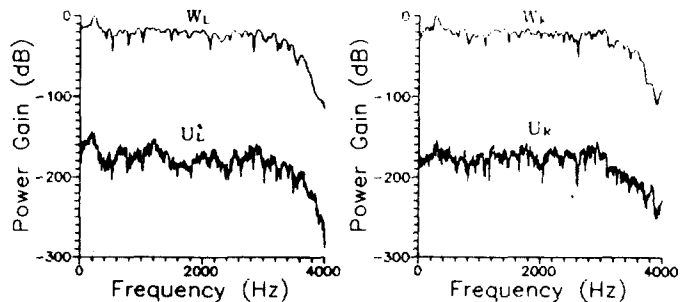


그림.8. 모델링 OSS 등화기의 평가

그림. 8은 그림. 9에 나타낸  $I_L$ ,  $I_R$  신호를 Blackman 창함수를 이용한 32 차의 4KHz 저역통과 FIR 필터로 필터링한 후, 모델링 OSS 등화기의 입력 신호( $P_L$ ,  $P_R$ )로 주었을 때, 재생공간에 있는 DHM의 좌, 우 마이크로폰에 재생되는  $W$ 와  $U$  신호 특성으로서,  $W_L$ 과  $W_R$ 은  $U_L$ 과  $U_R$ 에 대하여 약 150[dB]의 차를 갖고 있으므로  $U_L$ 과  $U_R$ 은  $W_L$ 과  $W_R$ 에 대하여 충분히 억압되고 있음을 알 수 있다. 또한, 필터의 특성에 의한 4 KHz 근방에서의 평탄성 저하를 제외하고는 전 주파수에 걸쳐서 비교적 평탄한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서, 모델링 OSS 등화기의 시스템함수는 설정한 HRTF의 역필터로 작용하도록 추정되었음을 알 수 있다.

그림. 9는 그림. 8과 같은 주파수특성을 갖는  $W$ 와  $U$  신호를 더한 후, IFFT 처리하여 시계열신호로 재생한 결과로서, 원하지 않는 재생신호가 충분히 억압된 결과 입력신호가 충실히 재생되었음을 알 수 있다.

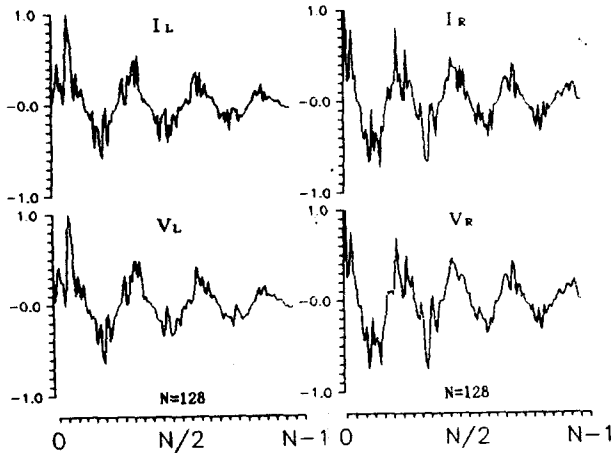


그림. 9. 모델링 OSS 등화기의 입/출력 특성

그림. 10은 그림. 8과 그림. 9의 평가과정에 대한 순서도로서, 모델링 OSS 등화기의 평가에 이용할 좌,우 2채널의 입력신호는  $\pm 1.0$ 에서 0.0까지 지수함수적으로 감쇠하는 128점의 신호를 4KHz FIR 필터와 convolution 연산으로 필터링 하였다. convolution 연산과정에서  $N$ 점의 주파수함수로 변환된 입력신호는 역시  $N$ 점의 주파수함수로 추정된

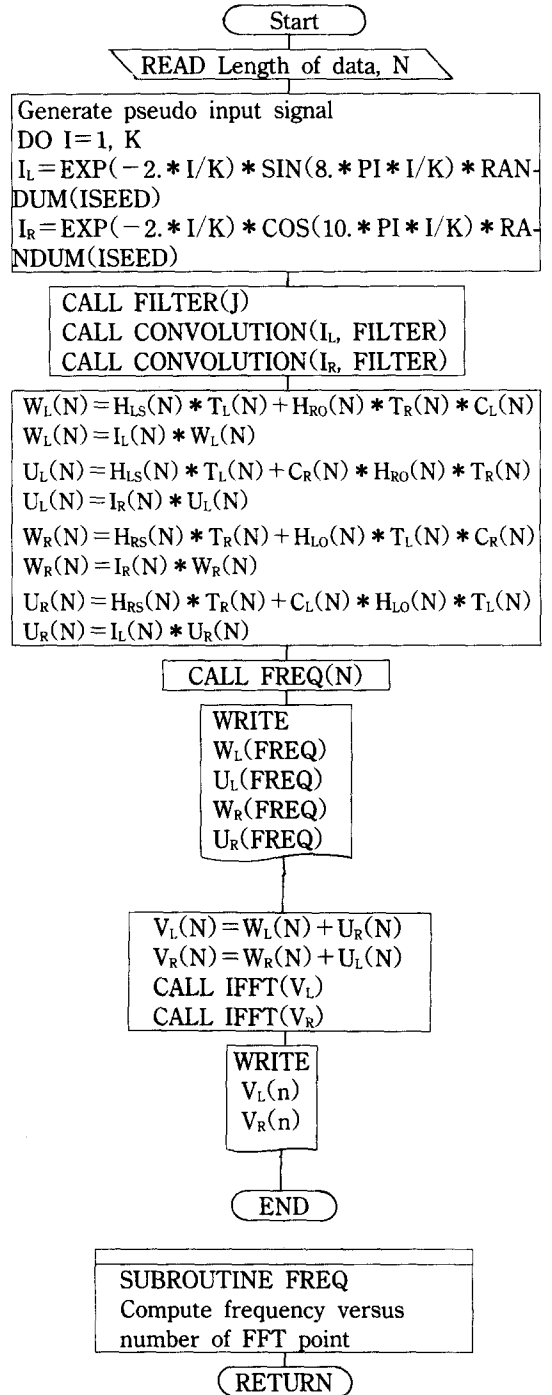


그림. 10. 모델링 OSS 등화기의 평가를 위한 순서도



시스템함수와 곱해져서 좌,우 2채널 입력신호에 대한  $W_L, W_R, U_L, U_R$ 로 계산되고, N점에 대응하는 주파수를 CALL  $FREQ(N)$ 으로 부터 계산하여 X 축을 주파수로하는  $W_L, W_R, U_L, U_R$ 를 출력하게 된다. 다음에는 W와 U를 더하여  $V_L$ 과  $V_R$ 을 계산하고 IFFT 처리하여 시계열의 재생신호로 변환하였다.

## 5. 결 론

본 연구는 원음장 재생장치의 하드웨어를 구성하기 위한 전 단계로서, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 재생공간의 음향전달특성인 HRTF(Head Related Transfer Function)를 설정하고, 설정한 HRTF로부터 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하여 OSS 등화기를 모델링하고 평가한 실험이다.

평가결과는 다음과 같다.

- 1) 컴퓨터 시뮬레이션으로 모델링한 OSS 등화기는 설정한 HRTF의 역필터로 작용하므로써 가정한 입력신호를 충실히 재생할 수 있었다.
- 2) OSS 등화기의 실시간처리는 OSS 등화기의 임펄스 레스폰스와 입력 음성신호와의 고속 콘볼루션 연산으로 실현될수 있음을 알 수 있었다.
- 3) OSS 등화기의 시스템함수는 HRTF로부터 추정되므로 HRTF 측정에 대한 연구가 선행되어야 함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- 1) 島田正治, 山崎芳男, “通信網における信號處理技術の一展開,” 日本音響學會誌 47券 7號, 1991
- 2) 馬島 良行 外 2人, “2 chによる3次元立體音章錄音方式の解説,” J.Acous.Soc.Jpn.90年 9月號

- 3) 강성훈, “음장통신을 위한 음향신호처리 기술,” 韓國音響學會誌 11권 2호, 1992, 7
- 4) 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券 5號, 1983
- 5) K. Okabe, “Orthostereophonic System を用いた水平面定位試験,” 日本音響學會誌 44券 4號, 1988
- 6) 鈴木陽一 外 2人, “音響系の傳達函數の模疑をめぐって(その 2),” 日本音響學會誌 45券 1號, 1989
- 7) L.R.Rabiner and B.Gold, “Theory and application of digital signal processing,” Prentice-Hall, Inc., 1975, chap.3 & 4
- 8) 김천덕, 윤종락, “전기음향공학(상권),” 국립부산수산수산대학교, 1991
- 9) 김천덕, 安倍正人, 城戸健一, “DFT를 이용한 잔향이 긴 음향전달계의 임펄스 레스폰스 추정에 관한 연구,” 韓國音響學會誌 7권 2호, 1988
- 10) 임정빈, 강성훈, 김천덕, “HRTF 설정에 의한 Ortho Stereophonic System의 컴퓨터 시뮬레이션 실험,” 한국음향학회 학술논문발표회 논문집 11권 1(s)호, 1992
- 11) Samuel D.S., Ruth A.D., “Signal Processing Algorithms,” Prentice-Hall, Inc., 1988, pp.21-204
- 12) Douglas G.M., “Digital Signal Processing,” Prentice-Hall, Inc., 1990, pp.65-83
- 13) H. Hamada, N. Ikeshoji, Y.Ogura and T. Miura, “Relation between physical characteristics of orthostereo phonic system and horizontal plane localization,” J.Acoust. Soc. Jpn. (E) 6, 1985