

멀티 채널 음장 재생 시스템의 설계

김영오*, 이동우*, 고대식*, 강성훈**, 이성우***

*목원대 전자공학과, **대전보건대학 방송제작기술과, ***해태전자

Design of Multi-Channel Sound Field Reproduction

Youngoh Kim*, Dongwoo Lee*, Deasik Ko*, Seonghoon Kang**, Seongwoo Lee***

*Mokwon Univ., **Taejon Health Science College, ***Haitai Electronics

youngman@mwus.mokwon.ac.kr

요 약

본 논문에서는 1채널(mono)이나 2채널(stereo)의 오디오 입력을 5채널(center, left, right, left side, right side)로 출력시키는 음장 시스템을 설계하고 그 성능을 분석하였다. 가정의 리스닝 룸 같이 작은 공간에서 콘서트 홀 같은 커다란 공간의 음장을 재현하기 위한 멀티 채널 음장 시스템은 지연기, 초기 반사음처리기, 잔향기를 이용해 설계하였다. 초기 반사음 처리기의 지연과 이득은 실제 공간에서 측정된 임펄스 응답을 이용하여 결정하였으며, 구현된 초기 반사음을 전방 30° 방향에서 재생함으로써 확장감을 증가시킬 수 있도록 하였다. 잔향기는 자연스러운 주파수 및 감쇠 특성을 갖도록 설계되었으며, 후방 60° 방향에서 재생되는 잔향의 상위 계수를 작게 함으로써 청취시 공간감을 느끼게 하였다.

설계된 음장 시스템은 무향실 데이터를 입력으로 시뮬레이션되었고, 그 결과로 얻어진 5개의 PCM 출력은 멀티 트랙 재생 장치에 의해 일반 리스닝 룸에서 재생된다.

1. 서론

음향 기술의 발달로 시간과 장소에 관계없이 음악을

즐길 수 있게 되었지만, 일반 가정의 리스닝 룸에서 청취하는 오디오 음악에서는 콘서트 홀이나 극장에서 느끼는 현장감이나 감동을 느끼기가 어렵고 재생 공간의 일부 지점에서만 스테레오 음상을 느끼게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 회사에서 AV 시스템을 개발하였다. 현재 Dolby Pro Logic, DTS(Digital Theater System), AC-3 등이 상품화되어있다. 그러나 이들 시스템들은 가격이 비싸고 요구되는 주변장치가 까다롭기 때문에 일반인들이 사용하기에 적당하지 않은 단점이 있다^[1].

본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위한 목적으로 멀티 채널 음장 시스템에 대한 연구를 시작하였다. 멀티 채널 음장 시스템의 스피커 배치는 AC-3 규격과 동일하며 모노나 스테레오 입력으로 콘서트 홀의 느낌을 주도록 하였다. 음장 시스템은 측방향에서 입사하는 초기 반사음과 공간감을 위한 잔향을 적절하게 생성하여 재생함으로써 작은 공간에서 큰 공간의 음장을 재현하기 위한 시스템이다. 음장 시스템은 실제 콘서트 홀에서 측정된 임펄스 응답을 이용해 측면에서 입사하는 초기 반사음의 지연과 이득 값을 결정하였고, 전방 30° 에 위치한 스피커로 재생함으로써 확장감을 주도록 하였다. 또한, 자연스러운 주파수 및 감쇠 특성을 갖는 잔향을 만들어 후방 60° 에 위치한 스피커로 재생함으로써 재생 공간에 자연스러운 잔향감을 주도록 하였다^{[2][3]}.

설계된 멀티 채널 음장 시스템은 무향실 음원(44.1kHz, mono, 16bit)을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 멀티 채널 음장 시스템의 구현

2.1 실내 공간의 음장 분석

리스닝 룸과 같이 작은 공간에서 콘서트 홀 같이 큰 공간의 인상을 만들기 위해서는, 홀의 객석에서 공간의 각 방향으로부터 도래하는 반사음의 패턴을 실제로 측정하여, 그 측정 결과에 따라서 반사음의 패턴을 재현하면 된다.

큰 공간의 음장을 분석하기 위해 임의의 콘서트 홀에서 임펄스 응답을 측정하였고, 음장 소프트웨어를 이용해 측정된 임펄스 응답을 분석하였다. 그림 1(a)는 콘서트 홀에서 측정된 임펄스 응답의 한 예를 나타낸 것이다. 좌석은 무대를 기준으로 약 30m 떨어져서 오른쪽에 위치한다. 임펄스 응답의 초기 지연은 약 80ms이고 잔향 시간은 약 2.2초이다. 그림 1(b)는 일반 리스닝 룸에서 측정된 임펄스 응답이다. 콘서트 홀의 임펄스 응답에 비해 반사음의 구조와 잔향 시간이 다르게 나타난 것을 알 수 있다.

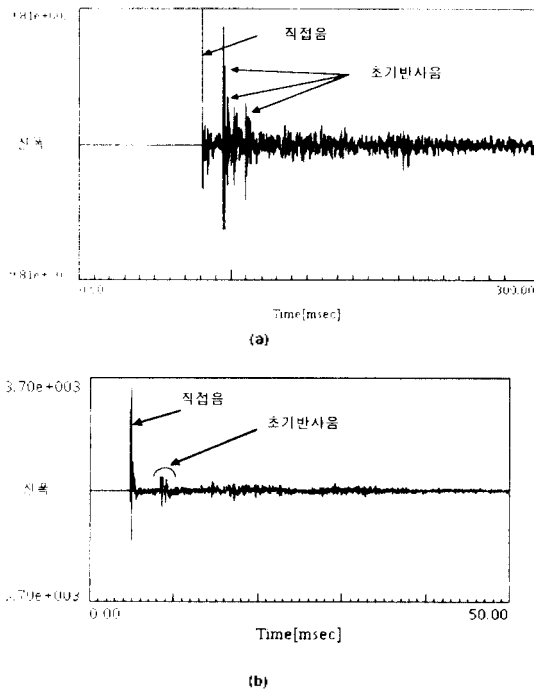


그림 1. 임펄스 응답

(a) 콘서트 홀, (b) 리스닝 룸

그림 2는 콘서트 홀의 20좌석에서 측정된 임펄스 응답의 주파수 특성이다. 좌석의 위치마다 약간씩의 차이를 보이고 있지만 공간에 의한 감쇠 때문에 저주파에 비해 고주파일수록 잔향 시간이 짧게 나타나는 것을 볼 수 있다.

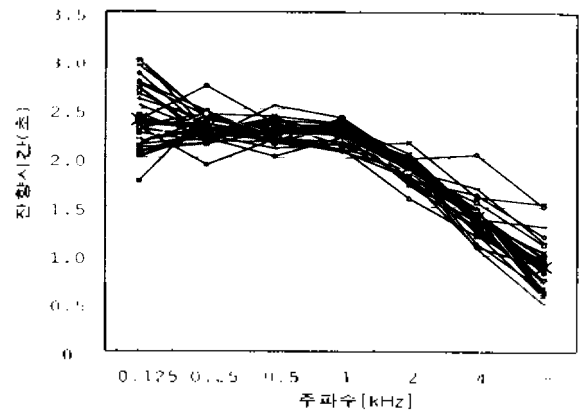


그림 2. 콘서트 홀의 20좌석에서 측정한 잔향의 주파수 특성

표 1은 임의의 홀과 리스닝 룸의 음장 특성을 비교한 예이다. 리스닝 룸이 홀과 같은 흡음률을 갖고 있지만 공간의 크기에 의한 평균 자유경로의 차이 때문에 잔향 시간의 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

표 1. 큰 공간과 작은 공간의 음장 비교의 일례

파라미터	홀	리스닝 룸
실내 용적 V	5800 m ³	50 m ³
실내 표면적 S	2000 m ²	90 m ²
V/S	2.9 m	0.56 m
평균 자유 경로 4V/S	11.6 m	2.24 m
잔향시간 RT	1.6 s	0.3 s
평균 흡음률	0.3	0.3
음원과 청취자의 거리 r	12 m	3 m
초기 반사음의 지연 시간 Δt_1	50 ms	9 ms
직접음의 레벨(Q=2인 경우)	-30 dB	-18 dB
잔향음의 레벨	-23 dB	10 dB

실내의 음장 분석을 통해 리스닝 룸에서 콘서트 홀의 음장을 재생하기 위한 조건을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 확장감을 위한 초기 반사음은 콘서트 홀에서 측정된 임펄스 응답을 이용해 결정하고, 즉방향 스피커(L, R)로 재생한다. 둘째, 특성이 자연스러운 잔향기를 사용하여 실내의 잔향시간을 길게 한다. 이때, 잔향은 부지향성이므로 2채널 재생시 상관성을 작게 함으로써 청취시 음에 들리싸이느낌을 갖게 한다. 끝으로, 재생시 리스닝 룸의 벽이나 바닥에 의한 반사음을 최소화한다. 이상의 조건들을 이용해 멀티 채널 음장 시스템을 구성하였다.

2.3 잔향기의 설계

제안된 멀티 채널 음장 시스템에서는 실내의 잔향 시간을 인위적으로 길게 하기 위하여 잔향기를 사용하였다. 사용된 잔향기의 구조는 그림 3과 같다.

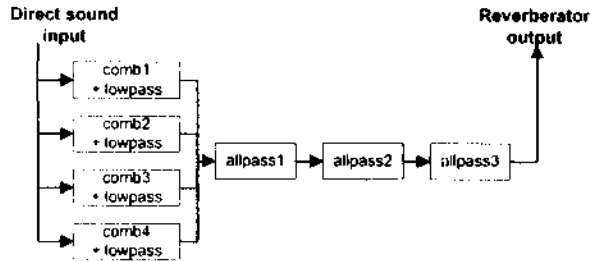


그림 3 잔향기의 블록도

제안된 잔향기는 4개의 comb 필터와 3개의 allpass 필터로 구성되어 있으며, 각각의 comb 필터는 케환에 저역 통과 필터를 포함한다. Comb 필터 지연은 잔향의 coloration을 방지하기 위해 지연 시간 간격이 일정하지 않은 숫수들로 결정하였으며, comb 필터 이득은 잔향 시간에 따라 식(1), (2)에 의해서 결정된다. Comb 필터 케환에 저역 통과 필터를 포함시킨 것은 잔향의 자연스러운 주파수 특성을 위한 것으로 앞에서 살펴보았던 실제 공간 잔향의 주파수 특성과 같게 하기 위한 것이다. Allpass 필터는 잔향음을 빌하게 함으로써 자연스러운 잔향음을 만들어주는 역할을 하도록 allpass 필터의 이득과 지연은 변화시켜가면서 최적의 값으로 결정하였다.

$$N = RT/cd \quad (1)$$

$$cg = 10^{-1/N} \quad (2)$$

여기에서, RT 는 잔향시간, N 은 직접음에 비해 -60dB 감쇠하는 동안의 comb 필터 루프횟수, cd 는 comb 필터 지연, cg 는 comb 필터 이득이다.^{[3][45][46]}

2.3 음장 시스템의 설계

설계된 멀티 채널 음장 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 입력 신호로부터 음장 시스템은 5채널의 출력을 만들어 낸다.

중앙 스피커로는 L, R 신호를 합성하여 모노 신호로 만들어 직접음을 시뮬레이션하고, 전방 30도에 위치한 L, R 스피커로는 옆 방향의 초기 반사음을 재생한다. 초기 반사음은 직접음보다 20~30ms 지연시키고 초기 반사음을 5~6개 정도로 만들어 낸다. 초기 반사음의 지연과 이득 값을 콘서트 홀에서 측정한 임펄스 응답을

이용해 결정하였다. 초기 반사음을 전방 30°에서 출력한 것은 초기 반사음 중 옆 방향에서 도래하는 반사음에 의해 공간의 확산감이 결정되기 때문이다.

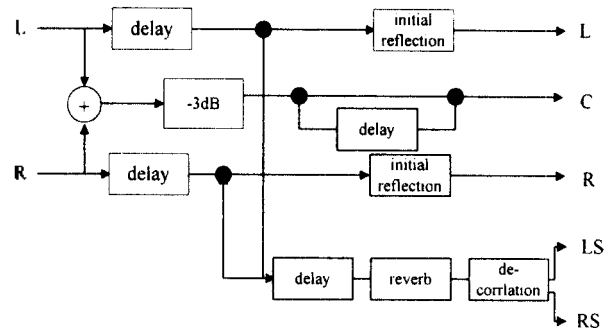
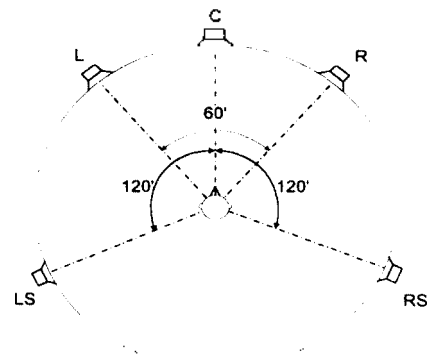


그림 4. 멀티 채널 음장 시스템의 구성도

뒤 방향 LS, RS 스피커는 잔향음 성분을 재생한다. 잔향음은 초기 반사음보다 20~30ms 지연시킨 후에 잔향음을 시뮬레이션하여 뒤 방향에서 재생한다. 잔향음은 무지향성이므로 뒤 방향 LS, RS에서 재생하는 잔향음의 상관성을 작게 함으로써 잔향음이 청취자를 둘러싸인 느낌을 주도록 하였다.^{[2][4]}

지금까지 서라운드 음장 재생에서는 청취자를 중심으로 60°의 간격으로 스피커가 배치된 방식을 채용하여 왔다. 그러나 AC-3의 스피커 표준 배치 방식과 호환성을 고려하여 서라운드도 이와 같은 배치를 사용하는 것이 바람직하다. 그림 5는 멀티 채널 음장 시스템의 스피커 배치를 나타낸다.



L : Left, R : Right, C : Center,
LS : Left-side, RS : Right-side

그림 5. 음장 시스템의 스피커 배치

3 실험 및 고찰

설계된 멀티 채널 음장 시스템은 PC에서 matlab으로 시뮬레이션하였다. 전체적인 시스템 구성은 그림 6과 같다. 우선, 음장 시스템의 중요한 요소인 잔향기를 설

계하고, 그 성능을 분석하였다. 그림 7은 음장 시스템에 사용된 관향기의 임펄스 응답 및 주파수 특성이다. 실제 콘서트 홀의 임펄스 응답 특성인 그림 1, 2와 비교했을 때 거의 비슷한 특성을 갖는다.

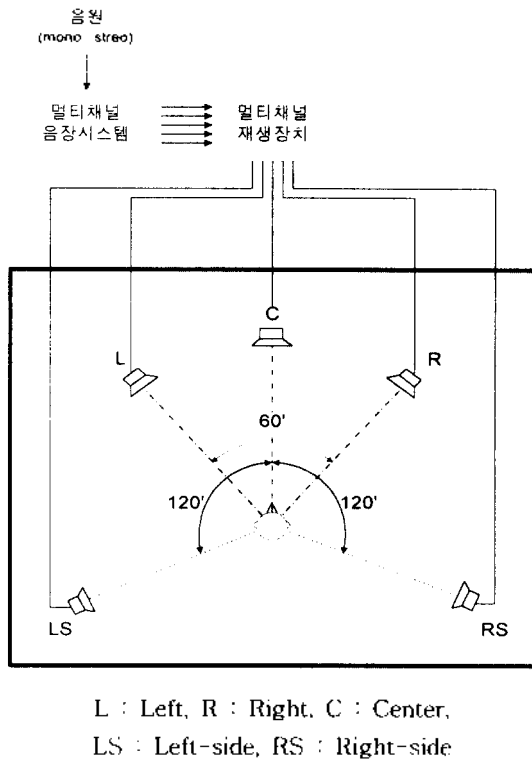


그림 6. 멀티 채널 음장 시스템의 전체 구성도

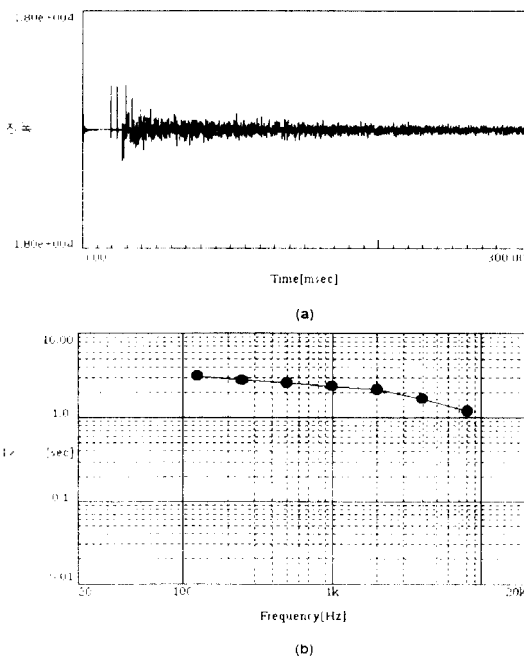


그림 7. 설계된 관향기의 특성 (관향시간 : 2.3초일때)
(a) 임펄스 응답, (b) 주파수 특성

관향음 청취 실험은 실험실에서 스피커 재생으로 하였고, 청취 실험 결과, 넓은 공간에서 음악을 듣는 느낌을 받을 수 있었다.

현재, 음장 시스템은 무향실 데이터(44.1kHz, mono, 16bit, 노래음악)를 입력으로 시뮬레이션하여 5개의 출력 PCM을 얻었다.

4. 결론

본 연구에서는 큰 공간의 음장을 작은 공간에서 재현하기 위한 멀티 채널 음장 시스템을 설계하였다. 실제된 음장 시스템은 무향실 데이터(44.1kHz, mono, 16bit, 노래음악)를 입력으로 시뮬레이션되었고 5채널의 출력을 만들어 냈다.

실험을 통해 L, R에서 재생되는 초기반사음의 파라미터 값을 조정함으로써 확장감을 얻을 수 있다는 것을 확인했으며, 2채널에서 재생되는 관향의 상관성을 삭제함으로써 공간감을 얻을 수 있는 것을 확인했다.

멀티 채널의 청취 실험을 위해 일반 리스닝 룸에는 5개의 스피커가 AC-3 규격에 맞게 배치되고, 5채널을 동시에 재생하기 위해 멀티 트랙 장치가 이용될 것이다. 멀티 채널 음장 시스템을 기반으로 계속해서 일반인들이 쉽게 사용할 수 있는 2채널 음장 시스템에 대해서 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] 라홍운, 이성우, 박태곤, 김봉수, "AV 시스템을 위한 다채널 음장 구현 및 시스템 최적화", 한국음향학회, 16 권, 1호, 1997
- [2] 강성훈, 강경욱, "입체음향", 기전출판사, 1997
- [3] N Sakamoto, A Kurahashi, Y Edahiro, S Yamaguchi, and T Kogure, "A Digital Audio Reverberator", ASE 70th Conv. preprint No. 1810 (I-7) Oct. 1981.
- [4] David Griesinger, "Theory and Design of a Digital Audio Signal Processor for Home Use", J. Audio Eng. Soc., Vol. 37, No. 1/2, 1989 January/February.
- [5] M. R. Schroeder, "Natural Sounding Artificial Reverberation," J. Audio Engineering Society, Vol. 10, No. 3, 1962.
- [6] 이동우, 김영오, 고대식, 강성훈, "디지털 신호처리 기술 이용한 자연스러운 실시간 관향기의 구현", 해양정보통신학회, 98' 춘계종합학술대회