

실제 음장과 가상 음 환경과의 비교 평가

강성훈, 조문재*

대전보건대학 방송제작기술과, 한국표준과학연구원 음향진동그룹*

Subjective comparison between real sound field and simulated sound field

Seong-Hoon Kang, Mun-Jae Cho*,

Taejon Health Sciences College, KRISS

ksound@tjhhealth.ac.kr jmj@kriss.re.kr*

1. 서론

실내 음향 설계 경험이 있는 사람이라면, 설계 단계에서 완성된 후의 공간의 음향을 실제로 귀로 들어서 확인해 보고 싶은 생각은 누구나 다 하였을 것이다. 최근에는 컴퓨터의 보급과 디지털 기술의 발전에 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 기술에 의해서 어느 공간의 어느 점에서의 임펄스 응답을 어느 정도 정밀하게 예측할 수 있다. 따라서 여러가지 물리량을 예측할 수 있게 되고, 에코 등 음향 장애가 생기지 않도록 하는 예전의 기술에서 여러가지 심리 효과를 고려한 한 걸음 더 진보된 음향 설계가 가능하다.

그러나 이러한 물리적인 지표만으로 완성된 후의 음향 상태를 완전하게 파악할 수 없다. 즉, 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 음향 설계자에게는 어느 정도의 음향 성능 파악에는 도움을 주지만, 비전문가에는 거의 도움이 되지 않는다. 이것은 음향 파라미터와 청감과의 대응 관계가 명확하지 않기 때문이다. 즉, 음향 파라미터만으로 명료성이나 잔향감, 공간감 등의 주관적인 느낌을 완벽하게 예측할 수 없다는 것이다. 따라서 최근에 검토되고 있는 것은 음향 설계 단계에서 여러가지 심리 효과를 실제로 귀로 확인하면서 음향 설계가 가능하도록 하는 가청화 기술이 개발되고 있다.

본 논문에서는 실제로 존재하는 실내를 시뮬레이션으로 구한 잔향시간, D_{50} , C_{80} , RASTI의 음향 물리량과 실측한 데이터와 비교하였다. 그리고 시뮬레이션과 실측으로 구한 임펄스 레스폰스를 무향실에서 녹음한 음악과 컨볼루션하여 얻은 가청화

음악을 주관적으로 비교 평가하여 가청화 기술의 유용성을 검토하였다.

2. 실제 음장의 음향 측정과 시뮬레이션

2.1 음향 측정 및 분석

실제 공간은 형태가 복잡하지 않은 직방체형 강의실(10.6×7.9×2.5m)을 선정하였다. 측정은 시뮬레이션 과정에서 산란 등에 의한 복잡한 음선 연산을 피하기 위하여 강의실 내부에 포함된 교단과 책상을 제외한 공간 상에서 이루어졌다.

측정은 MLSSA analyzer를 사용하여 자체에 내장되어 있는 MLS 신호를 앰프로 증폭시켜 스피커를 통하여 공간에 방사하였다[1]. 수음 지점은 9지점이며, 마이크와 스피커의 높이는 바닥으로부터 1.2m로 하였다. 음원으로 사용된 스피커는 BOSE 201이고, 이 스피커의 지향 특성은 시뮬레이션에서도 똑같이 사용하였다.

임펄스 응답으로부터 RT 및 D_{50} , C_{80} , RASTI를 계산하였다[2]. 그림1은 1지점에서 측정된 임펄스 레스폰스와 잔향 감쇠 곡선을 나타낸다.

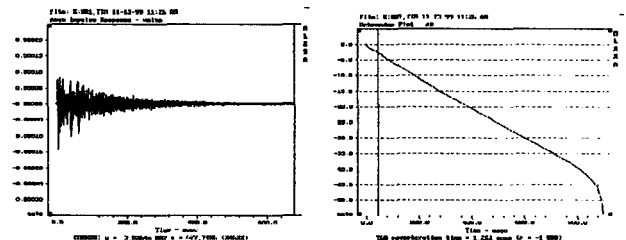


그림 1. 1지점에서의 임펄스 레스폰스와 잔향 감쇠 곡선

2.2 음향 시뮬레이션

2.1절에서 음향 측정된 강의실을 CAIT를 이용하여

모델링 하였다[3]. 프로그램 상에서 3차원 도면 및 음향 파라미터를 계산하기 위하여, 먼저 가상 음장을 만들어 내기 위한 geo(geometric, 기하) file을 작성하였다. geo file은 도면을 구성하는 각 점의 좌표 및 면 정보, 그리고 마감 처리에 대한 흡음 정보를 포함한다.

다음 단계에서, 가상 음장 내에 위치되는 음원 및 청취자 정보를 loc(location, 위치) file에 작성하였고, 기타 확산 계수 및 온도, 습도, 압소음 등의 환경 정보를 입력한 후 컴퓨터 연산을 실행하였다.

시뮬레이션 임펄스 응답으로부터 각 지점에서의 물리량을 계산하였다. 그림 2는 시뮬레이션 연산에서 얻어진 강의실 1지점의 잔향 감쇠 곡선을 나타낸다.

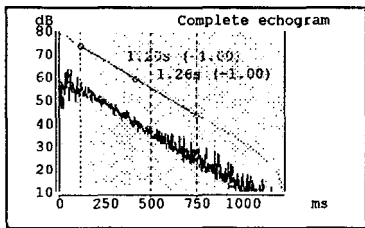


그림 2. 시뮬레이션에서의 잔향 감쇠 곡선

2.3 실측 음장과 시뮬레이션 음장의 비교

실제 음장에서 추출된 임펄스 레스폰스로부터 구해진 파라미터와 시뮬레이션에서의 임펄스 레스폰스로부터 얻어진 결과를 비교, 분석하였다. 그림3은 실측과 시뮬레이션한 임펄스 레스폰스를 비교하여 나타낸다. 임펄스 레스폰스에서 초기 반사음의 도래 시간은 거의 일치하지만, 반사음의 크기가 약간씩 다른 것을 볼 수 있다. 이것은 시뮬레이션시에 각 면의 흡음률의 미소한 차이 때문일 것이다. 그러나 잔향 부분은 거의 일치하고 있다.

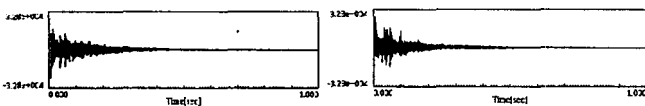


그림 3. 1지점에서 실측과 시뮬레이션 임펄스 레스폰스

그림4는 실측과 시뮬레이션한 1지점에서의 잔향 감쇠 곡선을 비교하여 나타낸다. 실측 데이터에서 압소음 때문에 60dB까지 잔향 레벨이 감쇠되지 않은 것을 제외하고는 거의 같은 감쇠 특성을 나타내고 있다.

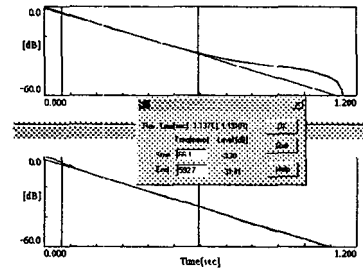


그림 4. 실측과 시뮬레이션한 잔향 감쇠 곡선

그림5는 각 지점에서의 실측과 시뮬레이션한 잔향시간을 비교한 것이다. 실측값과 시뮬레이션 결과가 전 지점에서 약 1.2초이고 거의 일치하고 있는 것을 볼 수 있다.

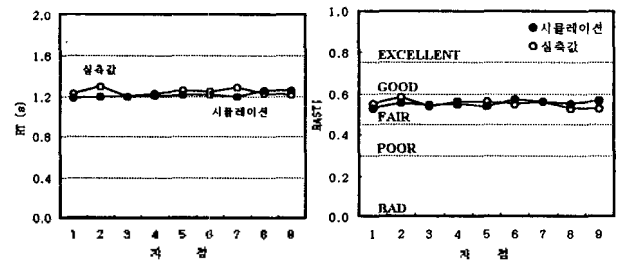


그림 5. 실측과 시뮬레이션의 잔향시간과 RASTI의 비교

그림5에 측정된 RASTI와 시뮬레이션한 RASTI를 비교하여 나타낸다. 두 경우의 값이 거의 일치한 것을 볼 수 있다.

그림6에 각 지점에서의 실측치와 시뮬레이션 D 값을 비교하여 나타낸다. 두 경우의 값이 일치되고 있지 않다. 이것은 임펄스 레스폰스에서도 알 수 있듯이 두 경우의 흡음률의 차이로 반사음의 크기가 다르기 때문이다.

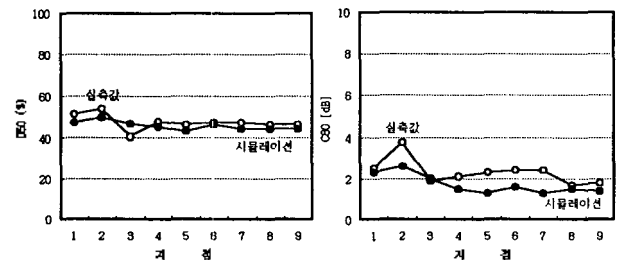


그림 6. 각 지점의 실측 D₅₀과 C₈₀ 시뮬레이션 값

그림6에 전 지점에서의 C₈₀의 값을 비교하여 나타낸 것이다. C₈₀도 전 지점에서 1~2dB의 차이를 나타내고 있다.

이상의 4개의 파라미터 중에서 잔향 시간과 RASTI는 실측치와 시뮬레이션 값이 일치 정도도 좋지만, D₅₀과

C80은 일치 정도가 좋지 않은 것을 알 수 있다. 이것은 잔향 시간과 RASTI는 거시적인 파라미터이고, D50과 C80은 음장의 미시적인 파라미터이기 때문이다. 결과적으로 두 경우의 파라미터는 정확히 일치하고 있지 않다고 할 수 있다.

3. 가상 음환경과 실제 음장의 주관 평가 비교

2절에서는 실측한 음장과 시뮬레이션한 물리적 파라미터를 비교 검토하였다. 그 결과 거시적인 물리량은 일치하지만, 미시적인 물리량은 일치하지 않는다. 따라서 미시적인 물리량의 차이가 청감적으로도 차이가 있는지를 알아보기 위하여 3절에서는 두 음장을 가청화 하여 청감적으로 비교 테스트를 실시한다.

3.1 가청화 시스템의 구성

먼저, 음원의 지향 특성과 실내의 형태나 흡음 데이터를 기본으로 하여 실내의 임펄스 레스폰스를 구한다. 이렇게 구한 임펄스 레스폰스는 방향 정보가 포함되지 않은 임펄스이므로, 이것을 3 차원 공간 정보가 포함된 binaural impulse 레스폰스로 변환하기 위하여 미리 측정된 머리 전달 함수(Head-Related Transfer Function; HRTF)와 컨볼루션(convolution)한다. 이렇게 구해진 binaural impulse 와 무향실에서 녹음한 음원을 컨볼루션 한다[4].

3.2 가청화 음장과 실측한 음장의 청감 비교 실험

가청화 음장과 실측한 음장의 비교는 모노와 바이노럴 두 가지로 실험하였다. 모노 실험은 실음장에서 모노 마이크로 측정한 임펄스 음과 모노로 시뮬레이션한 임펄스 레스폰스를 비교 평가 하였다. 바이노럴 실험에서는 실음장에서 더미헤드로 녹음한 음과 바이노럴로 시뮬레이션하여 얻어진 음장과 비교 실험하였다. 이 경우에는 공간 파라미터 뿐만이 아니라 시간 파라미터도 포함되어 있다. 실험에 사용한 음원은 무향실에서 녹음한 음성과 첼로곡을 이용하였다.

1) 모노 음원의 가청화 비교

모노 음원의 가청화 음장의 비교 실험은 강의실 1번, 5 번, 7 번 지점의 음에 대해서 일대 비교 평가를 실시하였다. 평가 항목은 잔향감, 명료성, 거리감을 평가하도록 하였다. 피험자에게 시뮬레이션하여 가청화 음과 실측한 모노 음원을 들려 주고, 표 1 과 같은

평가용 시트에 기록하도록 하였다. 피험자는 대학생 1-2 학년 남녀 10 명을 대상으로 하였다. 음원은 모노 실험시와 같은 음성과 첼로 곡을 이용하였다.

표 1. 주관 평가용 시트

	앞의 음이 더 많다	앞의 음이 약간 많다	차이가 없다	뒤의 음이 약간 많다	뒤의 음이 더 많다
잔향감	✓				
명료성			✓		
거리감				✓	

그림 7 에는 1 지점에 대한 잔향감, 명료감, 거리감에 대한 주관 평가 결과를 나타낸다. 잔향감과 거리감에 대해서는 두 음장이 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 명료성은 실측음이 시뮬레이션 음보다 더 명료하다고 대답한 피험자가 많고, 특히 음성의 경우에는 차이가 현저하였다. 이러한 결과는 5 번, 7 번의 두 지점도 거의 비슷한 결과이다.

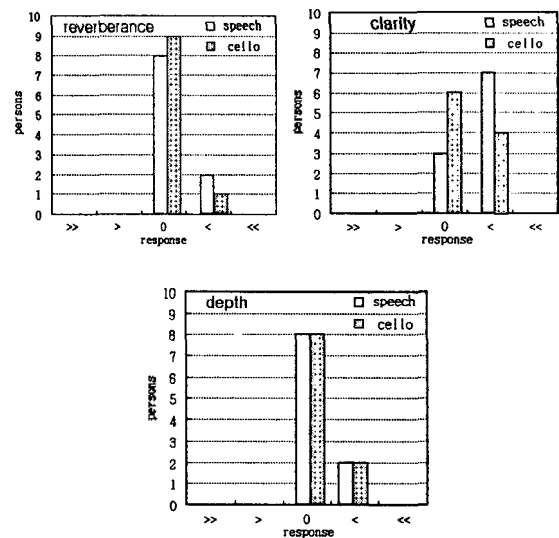


그림7. 모노 음원의 가청화 음의 주관 평가 결과

2) 방향감 실험

공간감을 포함한 바이노럴 청감 비교 실험을 하기 전에 시뮬레이션한 바이노럴 음원과 더미헤드로 녹음한 음원의 방향감 테스트를 실시하였다.

실제 음장에서의 녹음은 더미헤드(Sennheizer MKE2002)를 강의실의 중앙에 위치시키고, 2.5m 떨어진 위치에 스피커를 위치시켜 0 도에서 360 도까지 30 도 간격으로 스피커를 이동하면서 스피커로 방사된 무향실 녹음 음성을 DAT 에 녹음하였다. 바이노럴 시뮬레이션은 실음장 녹음과 같은 조건에서 시뮬레이션하여 무향실에서 녹음한 음성과 컨볼루션시켜 12 개의 방향별

음원을 만들었다. 청취한 음을 듣고 지각한 방향을 표시하도록 하였다.

그림 8 에 방향감의 평가 실험 결과를 나타낸다. 더미헤드를 이용하여 녹음한 음원보다 바이노럴 시뮬레이션 결과의 음이 방향감이 더 좋게 나타났다. 이 차이는 시뮬레이션에서 사용한 머리전달함수와 더미헤드의 머리전달함수의 차이에 기인한 것이다. 특히 시뮬레이션한 음은 180 도 방향의 지각이 정확한 것이 특징이다. 그러나 앞 방향과 뒤 방향은 전후 에러가 상당히 나타난 것을 볼 수 있다. 이 실험의 결과로부터 시뮬레이션 음장도 실음장을 녹음한 것과 동등 이상의 방향감 및 공간감이 재현되는 것을 알 수 있다.

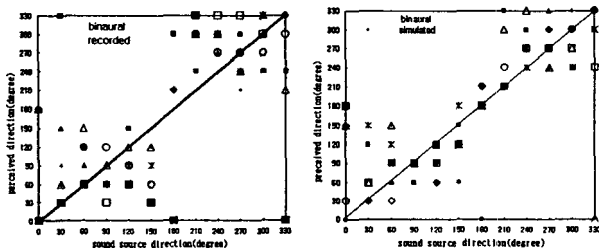


그림8. 녹음 음과 시뮬레이션 한 음의 방향감의 재현성

3) 바이노럴 음원의 주관 평가

강의실 가운데에 더미헤드(Sennheizer MKE2002)를 설치하여, 2.5m 떨어진 위치에 스피커를 설치하고 무향실에서 녹음한 음성과 음악을 스피커(Bose201)를 통해서 재생하고 이것을 DAT 에 녹음하였다. 이 바이노럴 음원과 바이노럴로 시뮬레이션한 음을 일대일 비교 형태로 피험자에게 제시하여 주관 평가용 시트에 기록하도록 하였다.

그림 9 에 잔향감, 공간감, 거리감에 대한 주관 평가 결과를 나타낸다. 잔향감과 공간감은 두 음장이 거의 비슷하다는 결과이었다. 그러나 거리감의 일치성은 약간의 차이를 나타내고 있다.

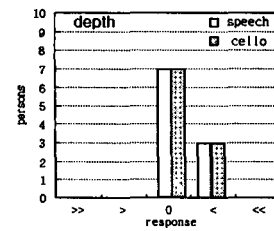
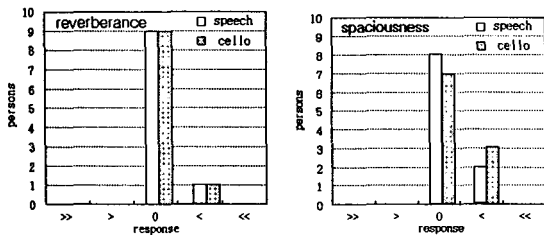


그림9. 바이노럴 가청화 음장의 주관 평가 결과

4. 고찰 및 결론

본 실험에서는 음향 시뮬레이션의 정밀도를 알아보기 위하여 실제 강의실에서 실측한 음장과 시뮬레이션한 음장을 비교 검토 하였다. 그 결과 거시적인 파라미터는 일치하지만, 미시적인 파라미터는 정확히 일치하지 않은 것을 알았다. 이것은 시뮬레이션 할 때 입력한 흡음률의 미소한 차이에 기인한 것이다. 이러한 오차는 불가피한 것이라고 생각할 수 있다. 그러나 물리적인 차이가 청감적으로 지각하지 못하는 정도의 레벨까지 재현하면 될 것이다.

가청화 실험에서 가장 큰 문제점은 두 음장의 음색 차이이었다. 실제 음장의 측정에서 사용한 스피커의 지향성 데이터를 시뮬레이션 시에도 똑같이 적용하였지만, 스피커 고유의 음색은 반영할 수 없는 것이다. 그림10은 실측한 임펄스 레스폰스의 주파수 특성과 시뮬레이션 한 임펄스 레스폰스의 주파수 특성을 나타낸다. 고역에서 두 주파수 특성이 약간 다른 것을 알 수 있다. 이 차이로 음색이 다르게 지각되고 있는 것이다.

따라서 본 실험의 결과에서 잔향감이나 공간감 등은 청감적으로 무리없이 재현이 가능하지만, 음색의 재생은 어려움이 있는 것을 알았다.

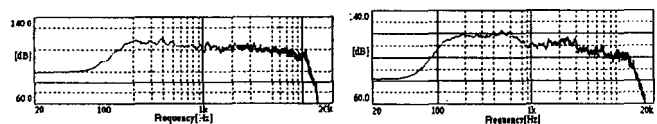


그림10. 실측과 시뮬레이션의 주파수 특성

참고 문헌

1. MLSSA reference manual v 9.0.
2. 강성훈, 방송 음향 총론, 기전 연구사(2000.1).
3. CATT acoustic manual v 7.2, CATT(1999).
4. 강성훈, "음향 시뮬레이션과 가청화의 한계", 한국음향학회 전기음향 워크샵, 85-90(1999.3).