

국악기의 음향방사특성에 따른 국악당의 음향성능조사

Investigation of the Acoustic Performance of Music Halls Using Measured Radiation Characteristics of the Korean Traditional Musical Instruments

한 찬 훈*, 이 원 구*, 정 철 호**

(Chan-Hoon Haan*, Wangu Lee*, Cheol-Ho Jeong **)

*충북대학교 건축공학과, **한국과학기술원 기계공학과 소음 및 진동제어 연구센터

(접수일자: 2005년 8월 2일; 채택일자: 2005년 9월 12일)

현재 국악기의 음향특성에 대한 상세 정보가 매우 부족하여 국악당의 설계에 있어서 최적의 음향을 전달하는 공간을 형성하지 못하게 하는 한 원인이 되고 있다. 따라서, 대중적이고 대표적인 국악기의 음향특성을 측정하고 분류한 후 데이터베이스를 구축하면, (1) 향후의 국악 및 국악기 개발에 대한 기초연구로서 활용될 수 있으며, (2) 국악 전용 연주장의 설계에 있어서 입력 데이터로 요긴하게 활용될 수 있으리라 판단된다. 본 연구는 국악기의 음향방사특성을 조사하기 위한 제2단계의 연구로서, 기존의 연구[1]에 새로운 국악기 8종을 추가하였다. 선정된 국악기는 현악기중에서 거문고와 해금, 관악기 중에서 피리와 태평소, 타악기 중 북과 쟁가리, 징 및 남성 창으로, 원거리 (far-field) 음향 방사 특성을 조사하였다. 무향실에서 시행된 지향특성실험을 통하여 얻은 국악기의 음향특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 적용하여 국악기의 지향특성의 차이를 규명하고 또한 다양한 형태의 공간에 음원의 방사특성의 차이에 따른 실내음향성능의 변이를 조사하였다. 측정 결과, 국악기 마다 주파수별 지향특성은 각기 다르게 나타났으며 무지향성 음원과 국악 음원을 사용하였을 때 음향 인자들 사이에 큰 차이를 보였다. 본 연구에서 제시된 데이터와 설계 방법론 등은 향후 국악원의 설계에 있어서 기본적인 자료로 활용될 수 있다고 기대된다.

핵심용어: 국악, 음향방사특성, 지향성, 건축음향인자, 컴퓨터 시뮬레이션, 홀의 형태, 무지향성 음원

투고분야: 건축음향 분야 (7.1)

There have been always some difficulties in target setting and conditioning of acoustic performances of the Korean traditional music hall due mainly to the lack of the information on the sound radiation characteristics of Korean musical sources. As the 2nd experiment succeeding the previous study(1), the radiation characteristics of eight typical Korean traditional musical sources were investigated in precision. The selected musical sources were Geomungo, Haegeum (string), Piri, Taepyeongso (woodwind), Buk, Kwaengguari, Jing (drum), and male Pansori Chang (vocal performance). The results show that the directivity pattern of each instrument is different and has their own directivity characteristics. Measured directional and spectral characteristics of traditional Korean music sources were implemented into the computation of architectural acoustic measures. Significant differences in the acoustic measures at receiver positions were observed between the results in using the omni-directional source and the directional one.

In order to investigate the acoustical characteristics of the instruments depending on the spatial variation four different shapes of halls were introduced including rectangular, fan, horse-shoe and geometrical shapes. Room acoustical parameters such as RT, SPL, C80, LF, STI were calculated at each type of hall. As the results, It was found that the rectangular hall has the most high clarity, lateral energy and STI values among four shapes of halls. It is thought that the suggested source data and design method can be used as a basic reference in the future acoustic design of performance halls for the Korean traditional music.

Keywords: Korean traditional music, Radiation characteristics, Sound Directivity, Computer simulation,

Architectural acoustic measures, Hall shape, Omni-directional sound source

ASK subject classification: Architectural Acoustics (7.1).

I. 서론

국악과는 달리 서양음악에 대한 실내음향학적 특성은 이미 많은 연구가 진행되어 왔으며 서양악기에 대하여도 음향학의 측면에서 오랫동안 연구가 시행되어서 음악의 종류에 따른 공연장의 설계조건과 음향학적 특성을 평가할 수 있는 객관적인 음향인자를 정립하였다. 그 이유는 서양음악의 경우 이미 오래 전부터 대중적인 공연장이 있어왔고, 공연장의 음향적 특성에 맞는 음악의 작곡이 이루어져 '공연장에서의 음악'이라는 개념이 일찍이 받아들여져 왔기 때문이다. 그러나 국악에 있어서는 현대에 와서야 수많은 사람이 함께 전통 국악을 감상할 수 있는 큰 규모의 대중적 공연이 시작되었기 때문에 공연장에 대한 음향학적인 지표가 공식화된 것이 없으며, 국악기의 음향특성과 이에 따른 공연장의 음향적 요구조건에 대한 연구가 많지 않았다. 따라서 공연장 음향 설계기준이 될 수 있는 지표를 찾기 위한 연구가 절실히 요구되고 있다.

건물 내부 공간에서의 음향 특성을 예측하는 과정은 공연장의 음향 설계에 있어서 매우 중요하다. 공연장에서의 음의 분포 및 음향 특성을 예측하기 위해서는 건물의 내부 형상, 건축 자재의 물성 및 배치 등이 일차적인 고려 대상이 되겠지만, 음원의 지향성에 따라라도 음의 분포 및 음향 특성이 달라지기 때문에, 최근 들어 음원의 방사 특성을 함께 고려하여야 한다고 제안되고 있다[1-5].

본 연구의 목적은 국악당의 설계에 있어서 국악기의 음향특성에 맞는 실내음향의 설계기준을 제시하는데 있다. 본 연구는 1차 국악음원의 지향특성조사연구의 후속 연구로서 1차연구에서 조사한 4개의 국악기 이외에 현악, 관악, 타악, 성악의 대표적인 음원인 거문고, 해금, 피리, 태평소, 북, 팽과리, 징, 남성창등 총 8종의 국악기에 대한 음향특성을 조사하였다. 또한 국악기의 음향

특성을 적용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 무지향성 음원과 국악기의 지향특성의 차이를 규명하고 또한 다양한 형태의 공간에 음향시뮬레이션을 적용할 경우 음원의 방사 특성의 차이에 따른 실내음향성능의 변이를 조사하였다.

II. 국악음원의 음향방사특성 측정

지향성을 측정한 국악기를 Sachs-Hornbostel 악기분류법에 따라 분류하면 현악기에서는 거문고, 해금, 관악기에서는 피리, 태평소, 타악기에서는 북, 퍼큐션에서는 팽과리와 징을 선택하였다. 그 외에 남성 판소리의 방사 특성도 측정 하였다. 음원의 지향성이란 원거리 특성이므로, 원거리 조건을 만족하기 위해서는 음원과 측정 마이크로폰의 거리가 최소한 가장 낮은 관심 주파수의 한 파장 이상 떨어져 있어야 한다. 250 Hz 옥타브 밴드를 가장 낮은 관심 주파수 범위로 결정하고, 고정구의 곡률 반경은 1.5 m로 설정하였다. 측정 고정구를 이용하여 지향성을 측정하는 개략도는 그림 1과 같다. 주파수 대역은 1 kHz를 기준으로 한 옥타브 밴드로서, 250 Hz~4 kHz의 범위로 제한하였다. 125 Hz 이하의 저주파수는 측정 고정구의 반경에 의하여 제한되었고, 8 kHz 이상의 범위는 측정 마이크로폰의 최적 주파수범위를 넘어서서 측정시의 신호대 잡음비가 좋지 않기 때문이다.

악기의 종류에 따라서 음원의 위치가 변하기 때문에 상하로 높낮이를 조절할 수 있게 반원형의 지그를 디자인 하였으며 측정은 전무향실에서 행하여 졌는데, 반무향실 조건을 만들기 위하여 바닥에 베이크라이트 및 폴리에틸렌 수지로 된 20 mm 두께의 판을 설치하였다. 실험장치의 바닥이 음향학적으로 단단하고 무한한 배플 조건을 만족함은 선행 연구에서 확인되었다[1].

실험에서는 어레이 마이크로폰 (B&K 4935) 19개가

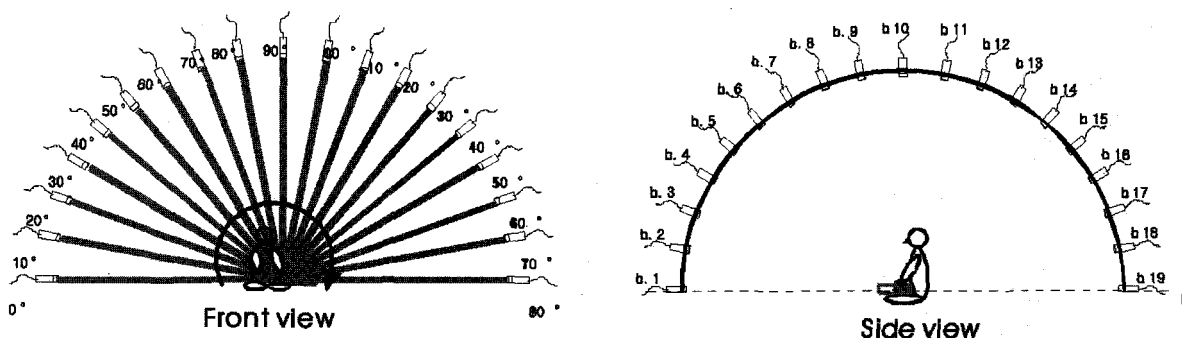


그림 1. 마이크로폰 위치. (a) 앞에서 바라본 위치, (b) 옆에서 바라본 위치
Fig. 1. Positions of microphones: (a) front view, (b) side view.

표 1. 실험악기별 연주곡 제목

Table 1. Contents of performance of each instrument.

종류	악기	연주곡	음압범위
현악기	거문고	한갑독류 짧은 산조 자진모리	45dB~85dB
현악기	해금	지명회류 산조 중중모리	45dB~85dB
관악기	피리	박법회류 산조 중중모리	45dB~80dB
관악기	태평소	능계 굿거리	65dB~100dB
타악기	북	자진모리 기본박 +adlib	50dB~100dB
과류선	쟁파리	휘물이 장난	55dB~95dB
과류선	징	자진모리 기본박 +솔로	40dB~110dB
편소리	창(남자)	쑥대머리	45dB~90dB

사용되었고, 국악 신호는 실시간으로 신호 분석기 (B&K PULSE type 3560D)에 의해 처리되며, PCM 녹음기 (Sony SIR-1000)를 이용하여 녹음하였다.

분석에 사용된 곡의 길이는 징 (30초), 태평소 (50초), 해금 (140초), 쟁파리 (100초), 북 (70초), 남성판소리 (60초), 거문고 (90초), 피리 (70초)였으며 악기에 따라서 곡의 길이가 달라진 이유는 연주자 가장 잘 연주할 수 있는, 그리고 최대한 많은 장단 및 주파수 성분을 포함하는 시제를 선택하였기 때문이었다.

음향방사특성 측정시 연주자의 머리위에 측정 고정구가 있는 경우를 90° 로 정의하고 연주자의 오른쪽으로 0°, 왼쪽을 180° 로 정의하였다. 마이크로폰은 1번 channel이 연주자의 전방, 19번 channel이 연주자의 뒤쪽을 나타낸다. 지향성 측정의 결과로서의 음의 지향성은 음원을 둘러싼 반구의 형태에서 매 입체각 10° 마다 주어지지만, 본 연구에서는 이해와 표현의 편의상 수직방향 지향성과 수평방향 지향성의 두 가지 2차원의 결과만을 표시한다. 수평방향 지향성은 0° 와 180° 의 신호를 분석한

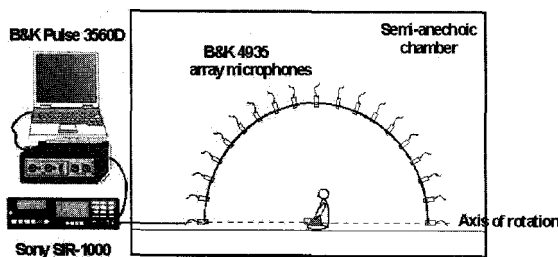


그림 2. 국악음원의 지향특성실험 구성도
Fig. 2. Measurement setup for the directivity.



그림 3. 반무향실험에 장착된 측정장치
Fig. 3. Measurement jig in the semi-anechoic chamber.

결과이며, 수직방향 지향성은 고정 측정구 90° 음압 레벨을 나타낸다.

무향실내 실험에서 각 악기는 음의 세기가 다양하게 표현되는 연주곡을 선택하여 연주하였다. 표 1은 각 악기별 연주곡과 연주 중 음압의 강약범위를 보여주고 있다.

그림 3은 무향실내에 설치된 지그의 중심에서 서문고와 해금을 연주하는 모습을 보여주고 있다.

III. 국악 음원의 방사특성

3.1. 거문고

거문고는 가야금과 함께 한국의 전통악기를 대표하는 발현 악기로, 술대로 줄을 치고 뜯어서 연주하는 악기이다. 주로 중고음역의 소리를 방사하며 125Hz 이하의 저주파수에서는 소리가 전혀 방사되지 않는다. 울림통의 열린 방향인 왼쪽으로 나 있어서 왼쪽 지향성이 나타난다.

기준 마이크로폰에서 측정된 거문고의 신호의 누적적 (cumulative) 1/3 옥타브 대역 스펙트럼은 그림 4와 같다. 거문고 소리는 가야금이 400 Hz~500 Hz의 중주파수 대역에서 가장 큰 소리를 방사하는 것과는 달리 250~500 Hz 대역에서 가장 큰 소리를 방사한다. 그림 5는 250 Hz~4KHz 1옥타브 대역에서 측정된 가야금의 지향성이며, 가야금의 수평방향 지향성은 주파수에 따라서 크게 변한다. 악기 뒤쪽의 울림 구멍이 연주자의 뒤쪽 약 45° 를 향하고 있어서 앞-뒤쪽 지향의 사극차형 지향성이 나타나고 있으며 대체로 가야금이나 Guitar와 비슷한 지향 특성 (Rossing, 1990)을 지니고 있다. 수직방

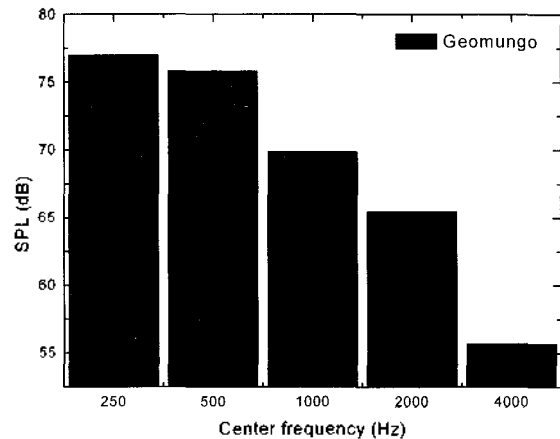


그림 4. 거문고 소리의 누적스펙트럼
Fig. 4. Cumulative spectrum of the sound of Geomungo.

향 지향성은 전후방향 지향성이며 울림통이 뒤쪽을 향하기 때문에 전방보다 후방의 음압이 더 크다.

3.2. 해금

기준 마이크로폰에서 측정된 해금신호의 누적적 (cumulative) 1 옥타브 대역 스펙트럼은 그림 6과 같다. 분석결과 해금소리는 2kHz대역에서 가장 큰 소리를 방사한다. 해금의 소리는 울림통의 방향인 연주자의 왼쪽으로 주된 방사특성을 보인다. 수직방향 지향성은 주로 위쪽 방사 형태를 보인다. 250Hz 미만의 저주파수대역의 소리는 전혀 방사되지 않는다.

3.3. 피리

피리는 한국의 대표적인 목관악기 중의 하나로서 지공을 통한 소리의 방사가 이뤄지는 악기이다. 음역은 약 두 옥타브로서 큰 음량을 지니고 있다. 그림 9는 피리 방사음의 1옥타브 밴드 스펙트럼으로 피리는 4kHz의 고주파수 대역에서 가장 큰 소리를 방사한다. 피리는 125Hz 미만의 소리는 낼 수 없다. 피리의 지향성은 그림 10에서 보이는 바와 같이, 수평방향에서 좌우 대칭적인 지향성을 가지고 있다. 대부분의 관악기에서의 소리의 방사는 막히지 않은 지공을 통한 방사이므로 지공이 위치한 앞쪽 방향에서 음압이 크게 나타난다. 그리고 수직 방향에서는 중-저주파수대역에서 앞쪽과 위쪽으로 강한 지향성을 보이고 있다.

3.4. 태평소

태평소는 유자나 대추나무 등 단단한 나무로 관에 끝에는 동으로 만든 나팔모양의 동팔랑을 단 목관악기이

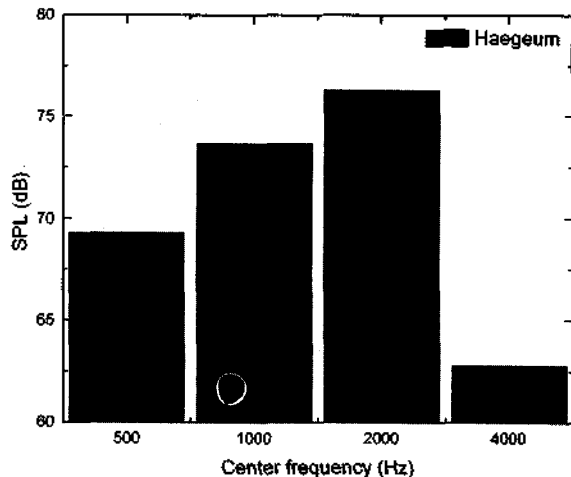


그림 6. 해금 소리의 누적스펙트럼
Fig. 6. Cumulative spectrum of the sound of Haegeum.

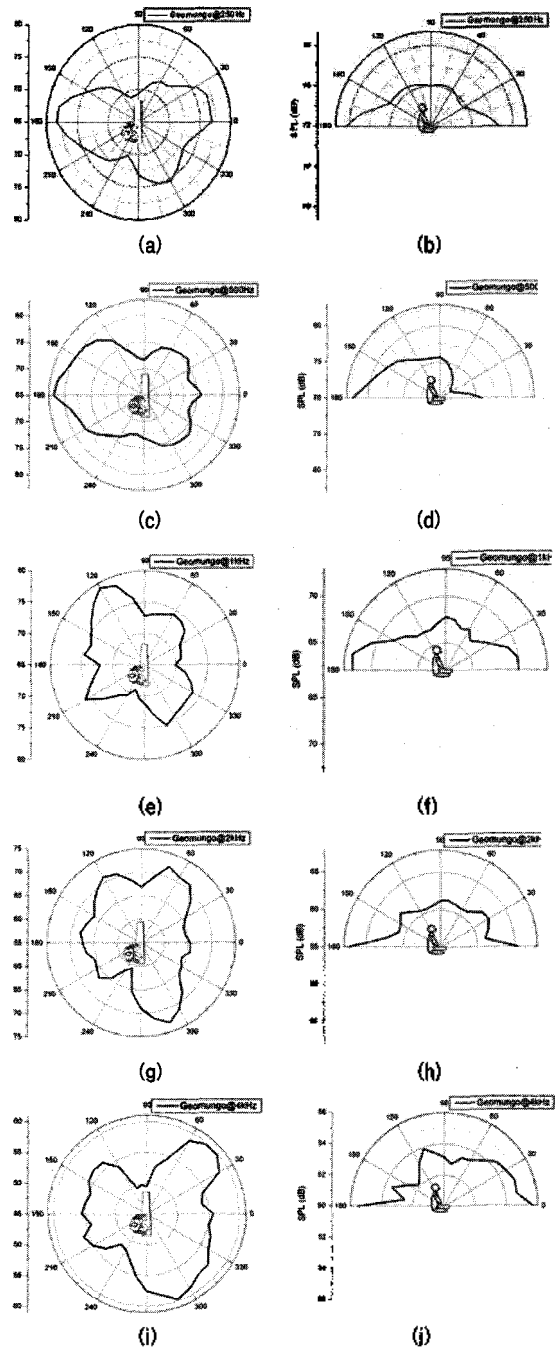


그림 5. 측정된 거문고의 지향성: (a), (c), (e), (g), (i) 수평방향 지향성, (b), (d), (f), (h), (j) 수직방향 지향성. (a), (b) 250 Hz; (c), (d) 500 Hz; (e), (f) 1 kHz; (g), (h) 2 kHz; (i), (j) 4 kHz
Fig. 5. Measured directivity pattern of Geomungo: (a), (c), (e), (g), (i) top view; (b), (d), (f), (h), (j) side view. (a), (b) 250 Hz; (c), (d) 500 Hz; (e), (f) 1 kHz; (g), (h) 2 kHz; (i), (j) 4 kHz.

다. 음량이 매우 크고 소리가 높으나 대체로 소란스러운 음색을 띄고 있다. 태평소 역시 250Hz이하의 소리는 방사하지 못하며 2kHz대역에서 가장 큰 소리를 방사한다. 지공과 동팔랑을 통한 소리의 방사구조로 인하여 피리와 마찬가지로 전형적인 앞쪽 지향성을 가진다. 수평방향에서 대칭적인 지향성을 가지고 있으며 중간주파수대역에

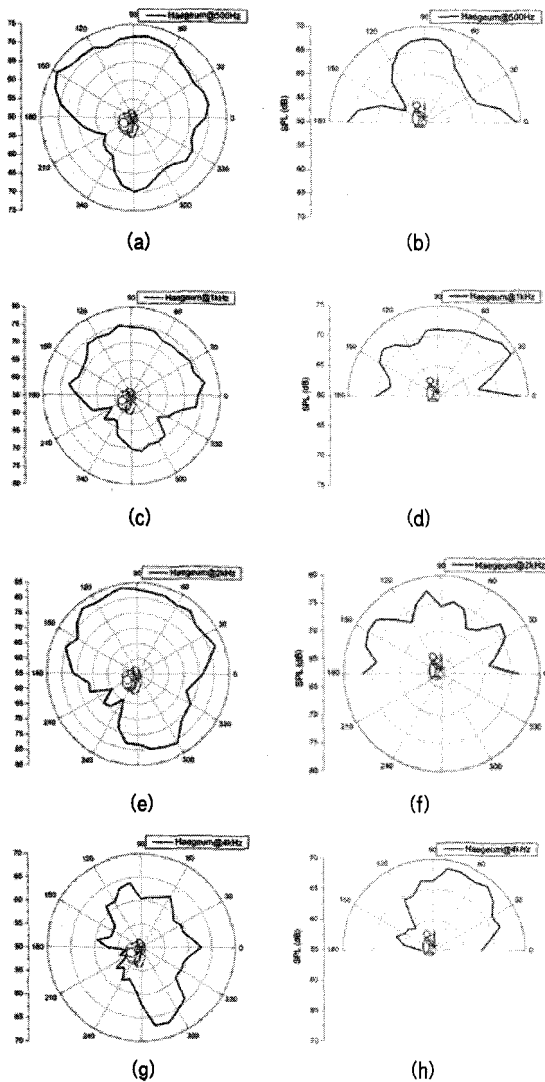


그림 7. 측정된 해금의 지향성: (a),(c),(e),(g) 수평방향 지향성, (b),(d),(f),(h) 수직방향 지향성. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz
 Fig. 7. Measured directivity pattern of Haegum: (a),(c),(e),(g) top view; (b),(d),(f),(h) side view. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz.

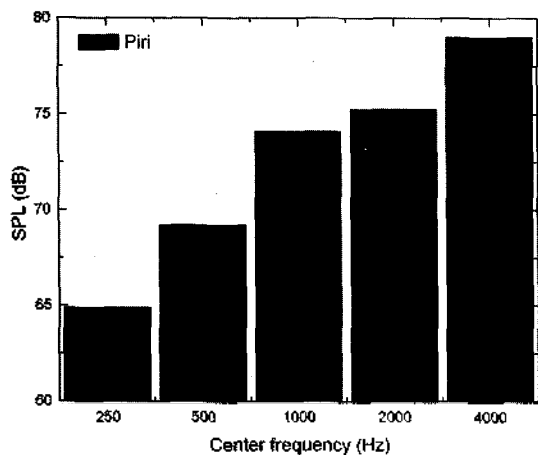


그림 8. 피리 소리의 누적스펙트럼
 Fig. 8. Cumulative spectrum of the sound of Piri.

서는 앞쪽과 함께 옆쪽으로 소리가 방사되는 특징이 있다. 본 실험에서 측정된 악기 중에서 음압레벨이 가장 큰 악기이다.

3.5. 북

북은 국악기중 가장 원시적이고도 기본적인 타악기이다. 그림 12는 기준점에서 측정된 북소리의 1옥타브 밴드 스펙트럼 분석 결과이다. 북은 주로 저주파수에서 큰 소리를 방사한다. 북의 수평방향 지향성은 그림 13과 같이 우측 지향성을 가진다. 연주시 북은 왼쪽으로 15~20° 정도 기울어져 있으며 오른손에 채를 들고 치는 관계로 모든 주파수대역에서 오른편에 더 큰 음압이 형성된다. 수직방향으로는 앞뒤 지향성을 나타낸다.

3.6. 팽과리

팽가리는 팽과리는 작고 둥근 낫쇠판에 홍사로 엮은 끈을 꿰어 왼손에 쥐고, 나무로 된 방망이 모양의 채로

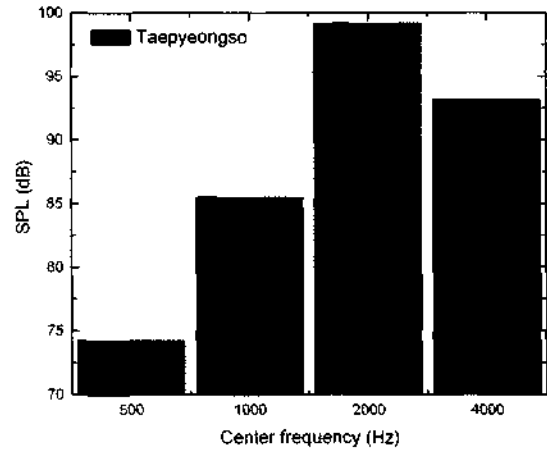


그림 10. 태평소 소리의 누적스펙트럼
 Fig. 10. Cumulative spectrum of the sound of Taepyeongso.

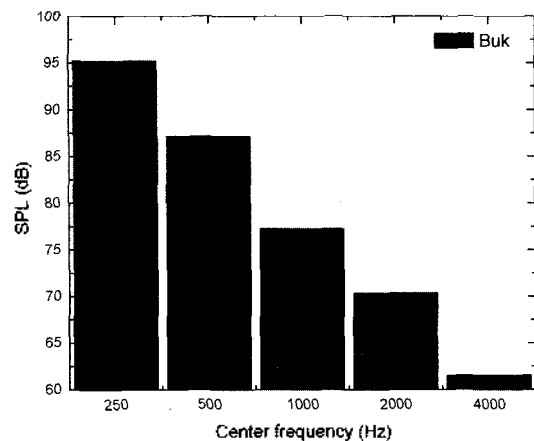


그림 12. 북 소리의 누적스펙트럼
 Fig. 12. Cumulative spectrum of the sound of Buk.

친다. 팽과리는 2kHz이상의 고음역에서 대부분의 음에너지가 집중되어 있다. 그림 15에 나타난 바와 같이 저주파수 대역에서 양쪽방향 지향성을 나타내며, 오른쪽보다는 왼쪽으로 더 방사가 잘 일어난다. 125Hz 이하의 주파수에서는 방사되지 않는다.

3.7. 징

징은 놋쇠로 만든 타악기로서 팽과리 보다 크고 무거우며 줄에 매달아 채로 쳐서 소리를 낸다. 음색은 웅장하고 부드러운 긴 여운을 지니고 있다. 특히, 저주파수 대역에서 큰 소리를 방사한다. 실험결과 징은 500Hz 미만의 저주파수대역에서 가장 큰 음압을 방사하며 수직방향으로는 앞뒤 지향성을, 수평방향으로는 양 옆쪽 지향성을 뚜렷하게 가진다. 전체적으로 왼쪽방향 지향성이 더 크게 나타난다. 특히, 저주파수대역에서 확실한 지향 특성을 지니고 있다.

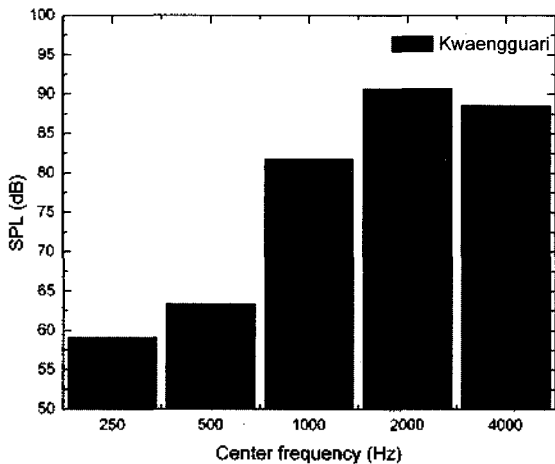


그림 14. 팽과리 소리의 누적스펙트럼
Fig. 14. Cumulative spectrum of the sound of Kwaengguari.

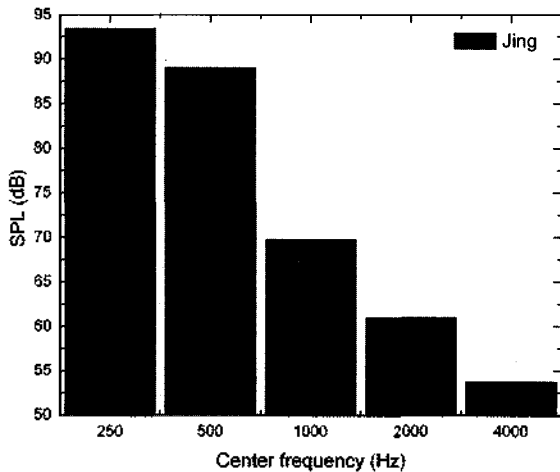


그림 16. 징 소리의 누적스펙트럼
Fig. 16. Cumulative spectrum of the sound of Jing.

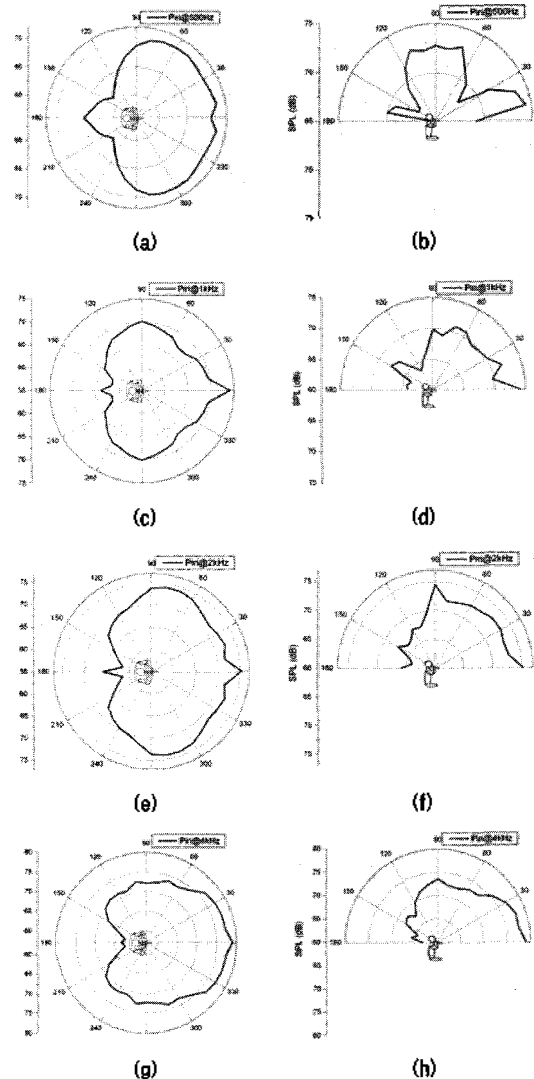


그림 9. 측정된 피리의 지향성: (a),(c),(e),(g) 수평방향 지향성, (b),(d),(f),(h) 수직방향 지향성. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz
Fig. 9. Measured directivity pattern of Piri: (a),(c),(e),(g) top view; (b),(d),(f),(h) side view. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz.

3.8. 창 (남자)

현재 판소리를 포함한 창은 여성 창자가 70~80%정도로 많이 활동하기 때문에 1차 실험에서는 여성 창자의 지향성을 측정하였으나 본 실험에서는 남성창자를 추가하였다. 그림 18은 기준 마이크로폰에서 측정된 판소리의 1 옥타브 스펙트럼 분석 결과로, 여성창자가 1kHz 근처에서 가장 소리가 나는 것과는 달리 남성의 경우 500Hz 대역에서 가장 크게 방사된다. 지향성의 측정에서는 고수 없이 창자의 소리만을 녹음하였으며 결과는 그림 19와 같이 나타난다. 저주파수 대역에서 판소리의 수평 방향 지향성은 무지향성이지만, 500Hz 이상의 주

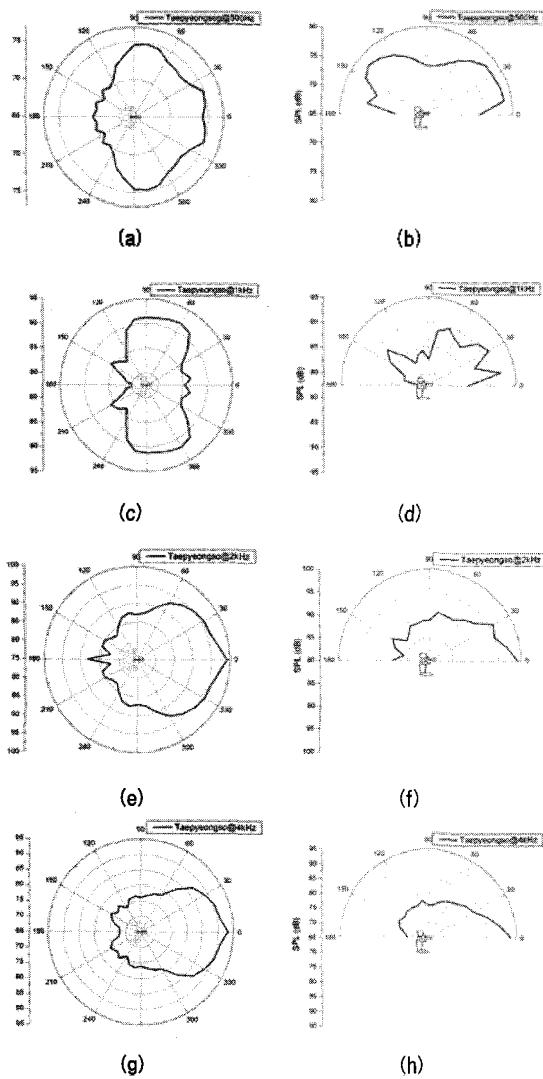


그림 11. 측정된 태평소의 지향성: (a),(c),(e),(g) 수평방향 지향성, (b),(d),(f),(h) 수직방향 지향성. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz
 Fig. 11. Measured directivity pattern of Taepyeongso: (a),(c),(e),(g) top view; (b),(d),(f),(h) side view. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz.

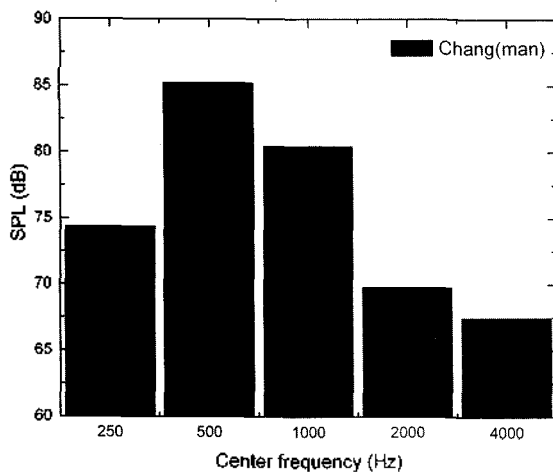


그림 18. 남성 판소리의 누적스펙트럼
 Fig. 18. Cumulative spectrum of the sound of Pansori.

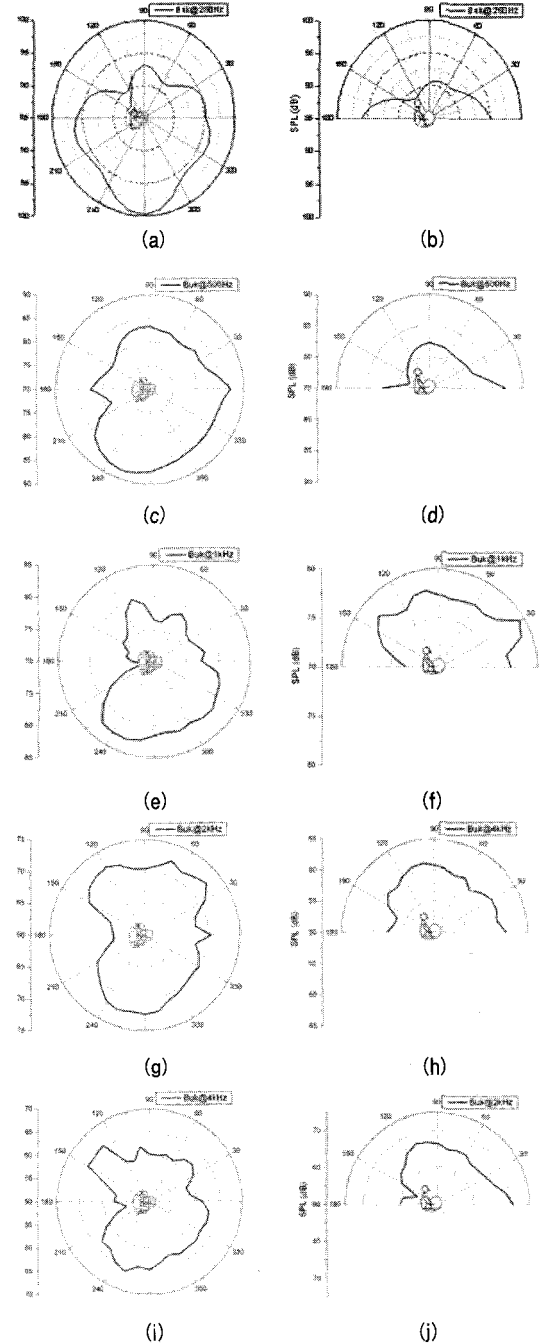


그림 13. 측정된 북의 지향성: (a),(c),(e),(g),(i) 수평방향 지향성, (b),(d),(f),(h),(j) 수직방향 지향성. (a),(b) 250 Hz; (c),(d) 500 Hz; (e),(f) 1 kHz; (g),(h) 2 kHz; (i),(j) 4 kHz
 Fig. 13. Measured directivity pattern of Buk: (a),(c),(e),(g),(i) top view; (b),(d),(f),(h),(j) side view. (a),(b) 250 Hz; (c),(d) 500 Hz; (e),(f) 1 kHz; (g),(h) 2 kHz; (i),(j) 4 kHz.

파수 대역에서는 후방으로는 잘 소리가 방사되지 않으며, 전방으로 반원형태 (-90o~90o)로 방사된다. 수직방향에서 대해서는 0o~60o 방향으로 강한 지향성을 보인다. 일반적으로 대칭적인 지향성을 지니고 있으며 주파수가 높아질수록 앞쪽 지향성이 강하게 나타나고 있다.

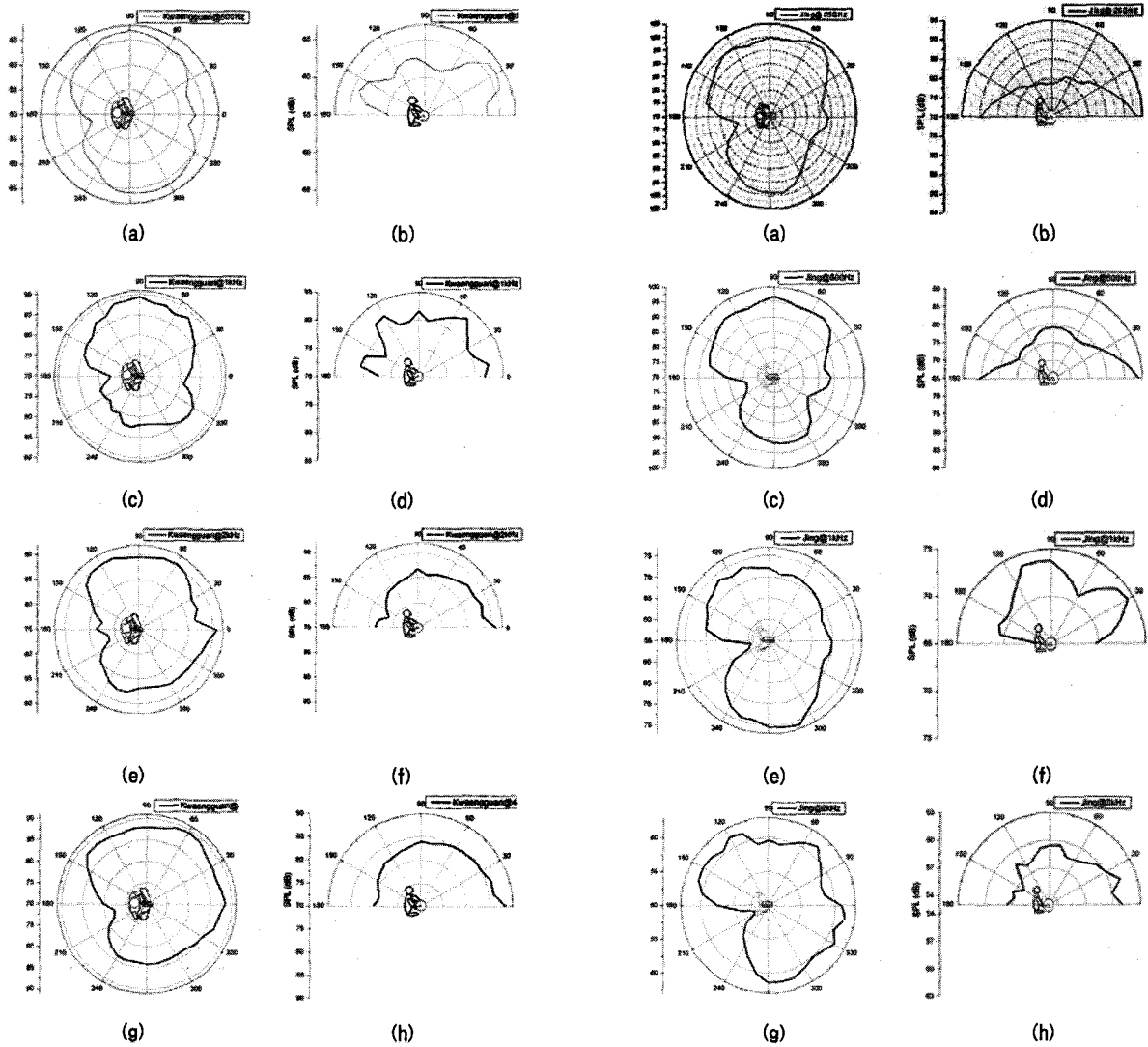


그림 15. 측정된 쥬가리의 지향성: (a),(c),(e),(g) 수평방향 지향성, (b), (d),(f),(h) 수직방향 지향성. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz
 Fig. 15. Measured directivity pattern of Kwaengguari: (a),(c),(e),(g) top view; (b),(d),(f),(h) side view. (a),(b) 500 Hz; (c),(d) 1 kHz; (e),(f) 2 kHz; (g),(h) 4 kHz.

IV. 음원의 지향특성 비교

공간에서의 음의 분포 및 음향 인자를 예측하는 경우에 있어서, 음원의 지향성에 따라서 그 결과가 달라진다는 사실이 기존의 연구자들에 의하여 밝혀진 바 있다. 따라서, 국악 전용 공연장의 설계에서도 국악 음원의 지향성을 고려한 예측을 통하여 보다 효율적인 설계가 가능할 것이다. 컴퓨터 모델링을 통한 국악기의 방사특성간의 차이를 조사하기 위하여 기존의 컴퓨터 모의실험에서 널리 이용된 무지향성 음원과 측정된 국악기의 방사특성을 사용한 경우의 음향 인자들의 차이를 살펴보았

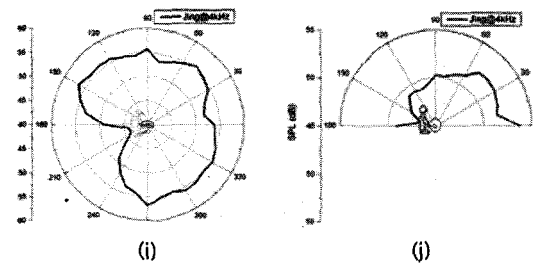


그림 17. 측정된 징의 지향성: (a),(c),(e),(g),(i) 수평방향 지향성, (b),(d),(f),(h),(j) 수직방향 지향성. (a),(b) 250 Hz; (c),(d) 500 Hz; (e),(f) 1 kHz; (g),(h) 2 kHz; (i),(j) 4 kHz
 Fig. 17. Measured directivity pattern of Jing: (a),(c),(e),(g),(i) top view; (b),(d),(f),(h),(j) side view. (a),(b) 250 Hz; (c),(d) 500 Hz; (e),(f) 1 kHz; (g),(h) 2 kHz; (i),(j) 4 kHz.

다. 음향 인자들은 건축음향에서 널리 사용되는 음선추적기법을 이용하여 계산되었으며, 사용한 상용 프로그램은 ODEON (v.6.0)이었다.

임의로 컴퓨터상에 모의모델을 작성하여 국악 음원은 무대 중앙에 위치하였으며, 각 음원에 따라 측정된 지향

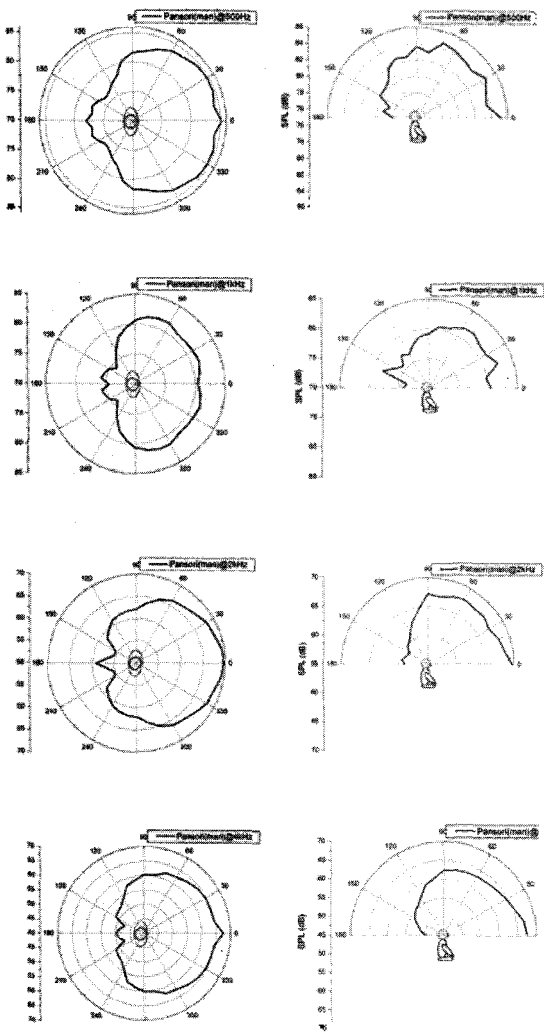


그림 19. 측정된 남성 판소리의 지향성: (a), (c), (e), (g) 수평방향 지향성, (b), (d), (f), (h) 수직방향 지향성. (a), (b) 500 Hz; (c), (d) 1 kHz; (e), (f) 2 kHz; (g), (h) 4 kHz
 Fig. 19. Measured directivity pattern of male Pansori: (a), (c), (e), (g) top view; (b), (d), (f), (h) side view. (a), (b) 500 Hz; (c), (d) 1 kHz; (e), (f) 2 kHz; (g), (h) 4 kHz.

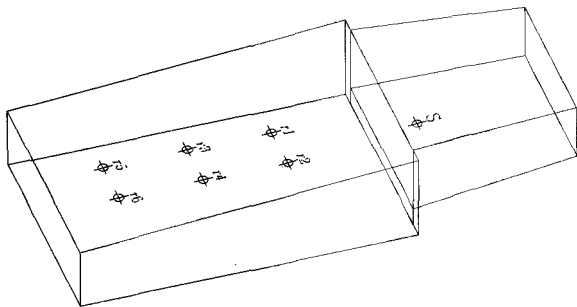
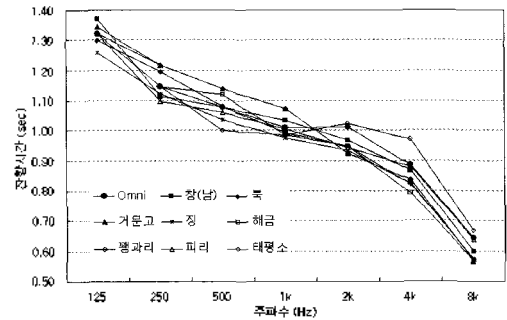
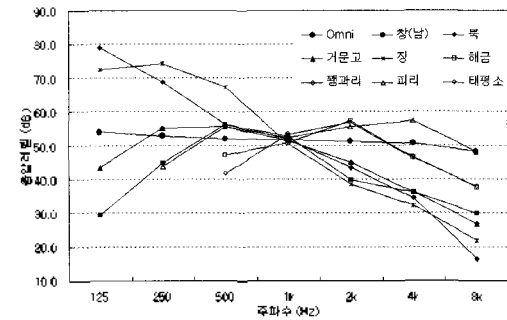


그림 20. 음향특성 비교에 사용된 장방형모델의 형상과 음원 및 수음점의 위치
 Fig. 20. Three-dimensional CAD model of rectangular hall and the location of source and receiver points in the simulation.

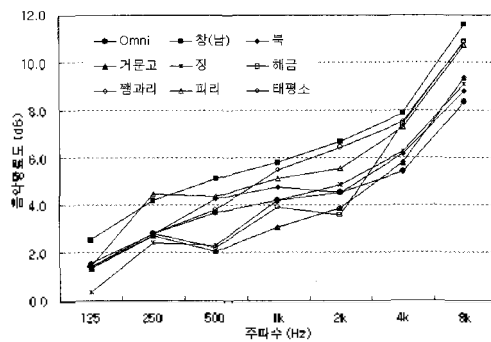
특성을 변경하며 모의실험을 수행하였다. 시뮬레이션 모델의 객석에 임의로 6개의 수음점을 설정하여 각 수음점의 평균치를 사용하였다. 무지향성음원과 국악기의 방사 특성비교실험에 사용된 장방형모델의 형상과 음원 및 수



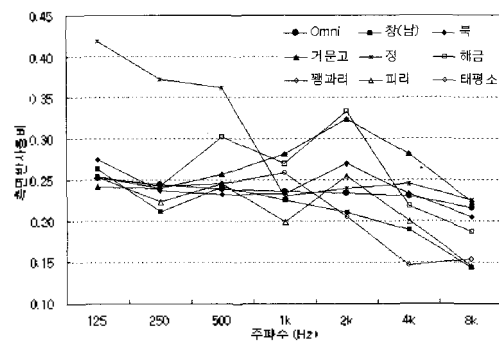
(a) 잔향시간 (RT)



(b) 음압레벨 (SPL)



(c) 음악명료도 (C80)



(d) 축면반사율비 (LF)

그림 21. 국악음원에 따라 예측된 건축음향인자들 : (a) 잔향시간; (b) 음압레벨; (c) C80; (d) LF

Fig. 21. Predicted architectural acoustic measures according to the traditional music sources: (a) RT; (b) SPL; (c) C80; (d) LF.

음점의 위치는 그림19에 나타난 바와 같다.

모의실험에서는 최대 3000개의 음선을 이용하였고, 음선의 최대 반사 횟수는 200회이다. 측정된 건축음향 인자들은 잔향시간 (T30), 음압레벨 (SPL), C80 (clarity), LF (lateral energy fraction), 및 STI (speech transmission index)이다. 그림 20은 모의실험에서 계산된 음향 인자의 결과를 나타내고 있다. 그림21(a)에서, 지향성이 고려된 음원을 사용하였을 경우의 잔향시간과 무지향성 음원을 사용한 경우의 잔향시간의 차이는 모두 0.1초 내외로 그 변동량이 크지 않고, 주파수 대역에 따라 비슷한 경향을 보인다. 125Hz에서 남자창이 다른 음원보다 약간 더 길게 나타났으며, 태평소가 4kHz에서 다른 음원보다 잔향시간이 더 길게 나타났다. 그림21(b)는 예측된 음압레벨인데, 음원에서 같은 크기의 음향 파워를 방사시킨 경우를 모사한 것으로, 무지향성 음원의 경우 주파수에 관계없이 일정한 값을 나타내고 있지만, 북과 징은 저주파수 대역에서 최대값을 가지며 고주파수 대역으로 갈수록 작아지고 있다. 반면에 피리와 해금등은 1K Hz~2 kHz대역 사이에서 최대값을 가지고 있는 것으로 나타났다. 소리의 명료도를 나타내는 C80를 예측한 결과, 창이 실험한 음원 중에서 모든 주파수 대역에 걸쳐서 가장 높은 값을 보였으며, 대체로 모든 음원이 예상대로 주파수가 증가할수록 점차로 C80값이 증가하였다. 특히, 징의 경우에는 250Hz에서 최대 음압을 가지고 있음에도 불구하고 가장 낮은 C80값을 보였다. LF는 연주장의 공간감과 관련된 인자로서 모든 방향에서 수음점으로 입사되는 음향 에너지에 대한 옆 방향에서 들어오는 에너지의 비로 정의된다. 징과 팽과리가 음압이 큰 저주파수대에서 다른 음원에 비해 높게 나타났으며 고주파수대로 가면 창과 피리와 태평소가 다른 음원에 비해 낮게 나타나고 있다. 해금은 음에너지가 집중되고 있는 1KHz~2 kHz대역에서 다른 음원보다 높게 나타나고 있다. 모든 음원 중에서 무지향성음원과 가장 비슷한 측면반사음비를 보인 것은 북이다.

V. 공간형태에 따른 국악기별 음향특성

국악기의 음향특성조사에 따른 파생결과로서 공연장의 형태에 따른 국악음원별 비교조사를 통하여 악기의 지향특성에 따른 차이를 조사하였다. 비교조사연구에 사

표 2. 공간형태에 따른 모의모델의 제원

Table 2. Architectural measures of the 3-dimensional CAD model employed in the simulation.

classification	Rectan-gular	Fan	Bell-shape	Geome-tric
RT at 1KHz (sec)	1.04	1.04	1.04	1.04
RTmid (sec)	1.07	1.07	1.08	1.08
Volume (m ³)	2520	2550	2547	2550
Surface area (m ²)	1552	1520	1473	1494
Length (m)	24.0	17.5	20.5	20.0
Height (m)	7.0	7.0	7.0	7.0
Floor area (m ²)	360	342	338	348
Stage area (m ²)	132	132	132	132
Rake angle of floor	4°	4°	4°	4°

용된 공간의 형태는 공연장의 디자인에 가장 많이 사용되고 있는 장방형, 부채꼴형, 말발굽형(중형) 및 기하학적 형태 등의 4가지이다. 표 2는 공간형태에 따른 각각의 모델의 제원으로서 모든 형태의 가상 홀은 동일한 체적과 잔향시간 및 크기를 가지도록 제작하였다. 특히, 잔향시간은 연구결과 국악음악의 표준치로 산정된 1.0~1.1초[7] 사이의 값으로 동일하게 설정하였으며 1KHz에서 1.04초로 동일하게 설정하였다. 또한 체적, 높이, 면적, 객석의 기울기 등 음향에 영향을 미치는 건축조건을 거의 동일하게 설정함으로써 결과의 신뢰도를 높였다.

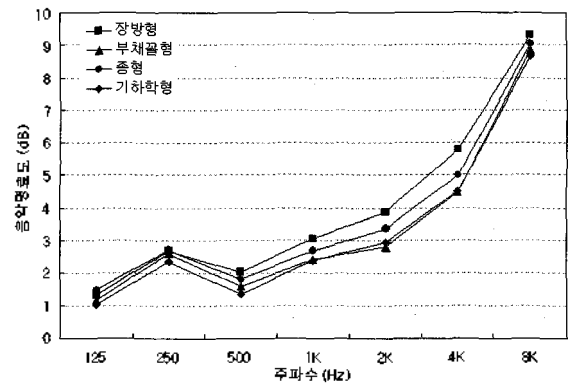


그림 22. 공간형태에 따른 거문고의 음역명료도 비교
Fig. 22. Comparison of C80 of Geomungo depending on the hall shapes.

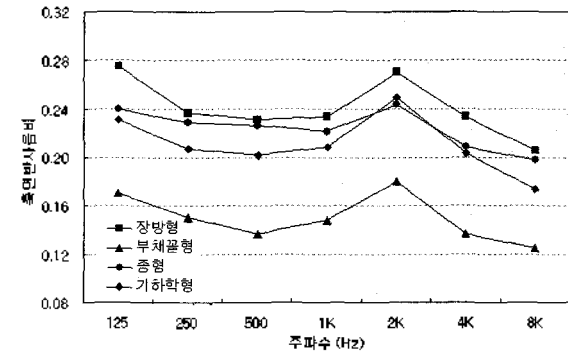


그림 23. 공간형태에 따른 북의 측면반사음비 비교
Fig. 23. Comparison of LF of Buk depending on the hall shapes.

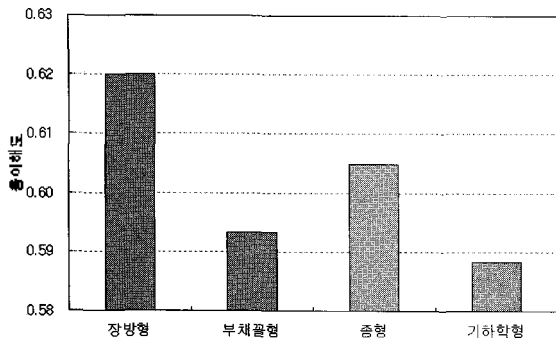


그림 24. 공간형태에 따른 정의 STI 비교
Fig. 24. Comparison of STI of Jing depending on the hall shapes.

각 형태의 홀에서 동일한 음원과 동일한 개수의 수음점을 설정하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 각 홀마다 잔향시간 (RT), 음압레벨 (SPL), 음악명료도 (C80), 측면반사음비 (LF) 및 음이해도 (STI) 지수를 분석하였다. 국악음원을 사용한 잔향시간, 음압레벨 및 음악명료도의 분석결과, 홀의 형태에 따른 차이는 크지 않았으며 모든 주파수대역에 걸쳐서 비슷한 특성을 보이고 있다. (그림 22 참조). 그러나 측면반사음비의 분석결과, 그림 23에 나타나고 있듯이 기존의 연구결과와 같이 장방형홀에서 가장 높은 측면반사음비를 얻을 수 있었다. 그리고 음이해도의 분석결과, 장방형과 중형의 홀에서 대체로 높은 값을 보이고 있는데 모든 형태에서 STI값이 0.6이상의 값을 보이고 있으므로 모든 형태에서 음이해도에 따른 음향상의 차이는 크지 않다고 할 수 있다.

VI. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국악 전용 연주장의 음향 설계에 있어서 중요한 인자가 되는 국악음원의 음향방사특성을 파악하였다. 대표적인 국악기로서 거문고, 해금, 피리, 태평소, 북, 팽가리, 징, 남자창의 주파수별 공간적 지향성을 조사하였다. 연구결과, 음압레벨의 주파수별 지향특성은 국악기에 따라 매우 다르게 나타났다. 국악기에 대한 음향특성을 과학적으로 실험 분석함으로써 본 연구의 결과는 향후 국악음향분야의 연구에 귀중한 자료로서 사용되어 질 수 있으리라 기대된다.

특히, 모든 주파수대역에서 일정한 값을 가지고 있는 무지향성음원과 비교하였을 때 국악기의 음향특성은 각 악기의 형태와 음향방사특성에 따라 실내에 전달되는 결과가 매우 다르게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 형태

에 따른 분석결과, 악기별도 다소 편차가 있지만 평균적으로 장방형공간에서 명료도와 측면반사음비 및, 음이해도가 모두 가장 높았으며 부채꼴과 기하학적 형상의 공간에서 대체로 낮은 성능이 나타났다.

이같이 음원의 지향특성에 따라서 공간에서의 음향특성이 달라지기 때문에 더 많은 국악 음원에 대한 연구가 필요하다고 생각되며, 본 연구 결과는 향후 국악원의 음향 설계에 기초적이고 중요한 참고자료가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다. (KRF-2004-002-D00438)

참고 문헌

1. 정철호, 이정권, 연철호, 한찬훈, "국악음원의 음향방사특성을 고려한 국악원의 음향 성능 예측," 한국음향학회지, 23 (2), 146-161, 2004.
2. 이원구, 한찬훈, "공간형태의 변이에 따른 국악기의 음향특성조사" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 23 (2(s)), 555-556, 2004.11.
3. 정철호, 장해원, 이정권, 이원구, 한찬훈, "국악기의 음향방사특성 조사연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 23 (2(s)), 551-554, 2004.11.
4. Haan,C.H. & Yeon,C.H. & Jeong,C.H., I.J.G., "Modeling of Sound Fields Considering the Acoustical Characteristics of Korean Traditional Musical Instruments", 32nd Inter-Noise Conference, Jeju, 2003.8.
5. 신성환, 정철호, 이정권, 연철호, 한찬훈, "국악음원의 음향방사특성에 관한 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 22 (1(s)), 489-492, 2003.7.
6. 신작수, 한찬훈, "청감실험에 의한 국악음향의 선호도 조사" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 22 (2(s)), 221-224, 2003.10.
7. 신작수, 연철호, 한찬훈, "청감실험에 의한 국악음악의 음향설계의 기준설정에 관한 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 22 (1(s)), 497-500, 2003.7.
8. 김범수, 박경수, 최철민, 성령모, "국악 공연에 적합한 공연장의 음향특성에 관한 연구" 한국음향학회 학술발표대회논문집 18 (2), 1999.
9. B. I. Dalenback, M. Kleiner, and P. Svensson, "Aurality of changes in geometric shape, source directivity, and absorptive treatment - experiments in auralization," Journal of the Audio Engineering Society, 41, 905-913, 1993.
10. F. Otondo, J. H. Rindel, R. Causs, N. Misdariis, and P. de la Cuadra, "Directivity of musical instruments in a real performance situation," Proceedings of the

International Symposium on Musical Acoustics, 312-318, 2002.

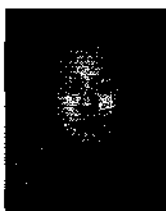
11. F. Otondo and B. Kirkwood, "Perceived influence of changes in musical instrument directivity representation," Proceedings of the Stockholm Musical Acoustics Conference, CD-ROM, 2003.
12. L. Parati and F. Otondo, "Comparison of directional sources in simulating a soprano voice," Proceedings of the Stockholm Musical Acoustics Conference, CD-ROM, 2003.
13. N. H. Fletcher and T. D. Rossing. *The Physics of Musical Instruments* (Springer-Verlag, New York, 1997), Parts III,IV,V.
14. T. D. Rossing. *The Science of Sound* (Addison-Wesley, 1990). Chapter 11, 208-209.
15. *음악 대사전* (세광출판사, 서울, 1984), pp. 1081.
16. 장사훈, *국악 총론* (정음사, 서울, 1983), 108-109, 125-126, 141.

저자 약력

• 한 찬 훈 (Chan-Hoon Haan)

한국음향학회지 제23권 2호 참조

• 이 원 구 (Wang Lee)



2003년 2월: 충북대학교 건축공학과 (공학사)
 2005년 2월: 충북대학교 건축공학과 (공학석사)
 2005년 3월~현재: 대한민국인공지능 연구
 주관심분야: 건축음향, 실내음향, 음장시뮬레이션

• 정 철 호 (Cheol-Ho Jeong)



2000년 2월: KAIST 기계공학과 (공학사)
 2002년 2월: KAIST 기계공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: KAIST 기계공학과 박사과정
 주관심분야: 구조음향, 고주파수 방법, 건축음향, 실내음향