

해금 몸체의 음향학적 특성에 관한 연구

Acoustic Characteristics of the Haegeum Body

노 정 옥*, 박 상 하*, 성 평 모*

(Jung Uk Noh*, Sang Ha Park*, Koeng-Mo Sung*)

*서울대학교 전기·컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소

(접수일자: 2007년 7월 31일, 채택일자: 2007년 8월 16일)

본 논문은 한국의 전통 찰현(擦絃)악기인 해금의 음향학적 특성을 연구하는 과정의 첫 단계로서, 우선 무향실에서 해금 몸체의 전달함수를 충격응답 방법을 이용하여 측정하였다. 측정 결과로 얻은 전달함수로부터 해금 몸체의 주요 공진 특성들을 살펴보고, 각 공진점이 해금 몸체의 어느 부분과 각각 관계가 있는지를 알아내기 위해 복판의 클라드니 패턴 실험, 해금 몸체 내 공동(空洞, air cavity)의 음향학적 모델링을 통한 공진 주파수 계산 등의 과정을 수행하였다. 그 결과, 해금 몸체의 주요 공진 특성과 몸체 각 부분들 간의 상관 관계를 밝혀낼 수 있었다.

핵심용어: 해금, 전달함수, 공진 특성, 클라드니 패턴, 공동의 음향학적 모델링

투고분야: 음악음향 및 심리음향 분야 (8.1)

This paper is the first step to study on the acoustic characteristics of the Haegeum, a Korean traditional bowed-string instrument. We measured acoustic transfer functions of a Haegeum body using impulse response method. All the measurements are performed in anechoic chamber, INMC, SNU. We examined resonant characteristics of the Haegeum body with obtained transfer functions. Then we performed additional studies which are the Chladni pattern experiments and calculations of air cavity resonances to verify relations between the resonant peaks on the transfer functions and the resonances of each component, such as top plate, air cavity and so on. As a result, we can explain the acoustic characteristics of a Haegeum body and its components.

Key words: Haegeum, Transfer function, Resonant characteristics, Chladni pattern, Acoustic modeling of air cavity

ASK subject classification: Musical acoustics and Psychoacoustics (8.1)

I. 서론

해금(奚琴, 그림 1)은 기록에 따르면 고려 예종 9년(1114년) 중국 송나라에서 들여와 우리 음악에 사용할 수 있도록 개량 제작되었다. 대나무로 만든 몸체(울림통)에서 주아까지 연결된, 명주실로 만든 두 줄을 원산(bridge)으로 고이고, 두 줄 사이에 말총 활대를 끼워 활벌의 앞뒷면으로 줄을 마찰시켜 소리 낸다. 해금의 바깥 줄인 유헌과 안 줄인 중현은 완전 5도 간격으로 조율하여 연주한다.

해금에는 일정한 음자리가 없어 왼손으로 줄을 감아 쥐고 줄을 잡는 위치와 줄을 당기는 강약에 따라 음높이가 변한다. 왼손의 당기는 정도에 따라 음정을 조절할 수 있기

때문에 미분음(微分音)까지도 충분히 가능하다. 보통 해금의 음역은 대략 A b3~A b5까지 이고, 창작 음악에서는 더 넓어지기도 한다 [1].

해금의 몸체는 기본적으로 원통형 구조이며, 원통 내부에 '울림막' (그림 2)이라 불리는, 마치 카메라의 조리개 모양과 유사한 구조가 존재한다. 이 울림막 구조는 대나무 속의 마디를 완전히 제거하지 않고 가장자리 일부를 남겨두는 방법으로 제작된 것으로 보인다. 해금 몸체 단면의 그림은 다음 (그림 3)과 같다.

연주자가 해금의 활로 현을 마찰하여 발생시킨 소리는 원산을 통해 몸체의 복판에 전달되고, 복판과 몸체를 통해 외부로 방사된다. 일반적인 현악기의 경우, 악기 몸체의 음향학적 특성, 그 중에서도 전달함수가 그 악기의 음향학적 특성에 있어서 가장 중요한 역할을 담당한다는 사실을 바탕으로, 본 논문에서는 우선 무향실에서 힘변환기 (force

책임저자: 노 정 옥 (junoh37@acoustics.snu.ac.kr)
151-742 서울 관악구 신림9동 관악로 599 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소
(전화: 02-880-8427)

transducer)와 정밀 측정용 탐침(探針)-마이크로폰(probe microphone)으로 근거리 음장(near field)에서의 해금의 전달함수를 측정하였다 [2-4]. 그 다음, 측정 결과로 얻은 해금 몸체 전달함수의 주요 공진점들과 복판(top plate), 몸체의 공동(空洞, air cavity) 등 해금 몸체 주요 부분 사이의 상관 관계를 찾기 위해 복판의 진동 모드를 찾기 위한 클라드니 패턴(Chladni pattern) 실험 [5], 해금 몸체 내부 공동의 공진 특성을 음향학적 모델링을 이용하여 계산, 예측하는 [6-8] 연구 등을 진행하였다. 이러한 일련의 연구 과정을 통해 해금 몸체의 기본적인 음향학적 특성을 파악할 수 있었다.

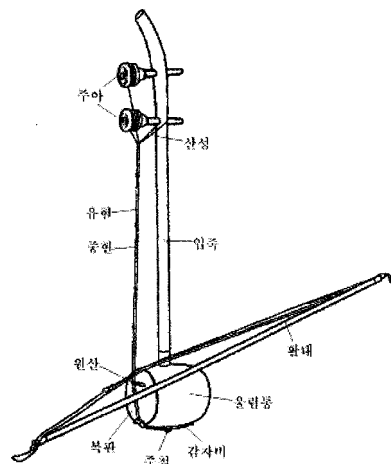


그림 1. 해금의 기본 구조
Figure 1. A Haegeum.

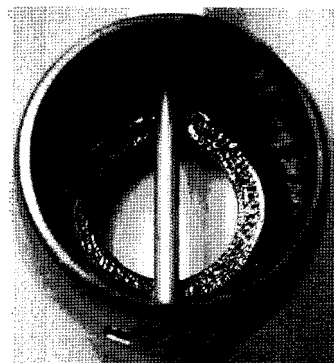


그림 2. 해금 몸체 내부 사진
Figure 2. A view of the Ulimmak in the Haegeum body.

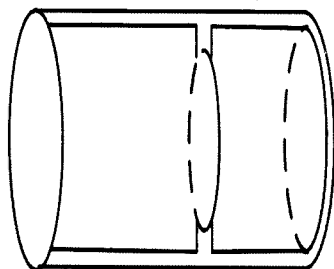


그림 3. 해금 몸체의 개략적인 단면도
Figure 3. A simple cross section of the Haegeum body.

II. 해금 몸체의 전달함수

해금의 음향학적 특성 연구를 위한 첫 단계로, 실제 연주에 사용되는 일반적인 전통 해금 표본을 대상으로 해금 몸체의 전달함수를 구하는 일련의 측정 실험을 진행하였다. 실험 진행 과정 및 결과는 다음과 같다.

2.1. 실험과정

해금의 전달함수를 측정하기 위하여 다음(그림 4)와 같이 무향실에서 힘변환기로 현을 진동하지 않게 처리(mute)한 해금의 워산에 충격 입력을 가하고, 그 응답을 각각 복판 중앙에서 약 3 cm 떨어진 위치와 해금 몸체 공동(空洞, air cavity) 입구(복판 반대 방향) 중앙 위치, 이렇게 두 근거리 음장(near field) 위치에서 탐침(探針)-마이크로폰으로 받아 B&K PULSE Analyzer로 분석하였다.

실험에 사용한 해금 표본은 해금 전공자가 사용하고 있는 전통 해금을 대상으로 하였다.

모든 실험은 서울대학교 뉴미디어통신공통연구소 음파무향실에서 수행하였으며, 실험에 사용한 측정 장비들의 목록은 다음과 같다.

표 1. 측정 장비 목록
Table 1. Measurement equipments.

기جه명	비고
B&K probe microphone type 4182	탐침(探針)-마이크로폰
B&K measuring amplifier type 2610	탐침(探針)-마이크로폰 컨디셔닝 앰프
B&K force-transducer 8203	힘변환기 (force transducer)
B&K conditioning amplifier type 2626	힘변환기 컨디셔닝 앰프
B&K PULSE3560C Front-End	입출력 인터페이스
B&K PULSE Labshop 11	분석 소프트웨어

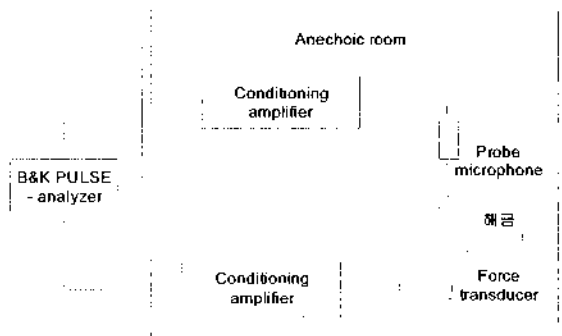


그림 4. 실험 설정
Figure 4. The measurement setup.

2.2. 실험결과

해금 몸체 표본의 전달함수를 측정한 결과는 각각 다음 (그림 5), (그림 6)과 같다. 전달함수 그래프들을 보면, 공통적으로 1.4~1.8 kHz 사이에 가장 큰 응답을 갖는 공진점들이 다수 집중되어 있는 것을 볼 수 있다. 그 외 600~700 Hz 대역과 2~4 kHz 대역 등에도 유의미한 공진점들이 존재하고 있다. 그 중 600~700 Hz 대역의 공진점은 특히 공동 입구 방향의 응답이 복판 방향보다 10 dB 이상 크고 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 이 부분의 공진점이 공동의 공진과 밀접한 상관 관계가 있기 때문인 것으로 생각된다. 이 부분은 이어지는 추가 분석에서 확인할 것이다.

해금의 기본 음역 (약 A b3~A b5)을 주파수로 환산하면 그 범위가 대략 200~900 Hz 이다. 그 중 실제 주로 연주되는 음역은 그보다 좀 더 좁은 것을 고려하면, 해금의 중, 고음역대의 기본주파수는 물론 전 음역에 걸쳐 주요 배음들

의 주파수가 나타나는 600~700 Hz 대역과 1.4~1.8 kHz 대역의 공진점들이 해금의 소리, 즉 음량이나 음색 등에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라 생각할 수 있다.

III. 해금 몸체 각 부분의 공진 특성

위 측정 결과로 얻은 해금 몸체 전달함수의 주요 공진점들과 복판 (top plate), 몸체의 공동 (空腔, air cavity) 등 해금 몸체 주요 부분 사이의 상관 관계를 찾기 위해 다음과 같이 여러 방법으로 연구를 진행하였다.

먼저 복판의 주요 공진 모드를 찾기 위한 추가 실험을 진행하였다. 또한 해금 몸체 공동의 공진 특성을 몇 개의 음향학적 모델링을 통해 계산해보고, 그 결과를 전달함수와 비교하는 과정을 통해 각 모델의 유효성을 확인해보았다.

3.1. 해금 복판의 공진 특성

해금 복판의 주요 공진 모드를 찾을 수 있는 가장 간단하면서도 효과적인 방법으로 클라드니 패턴 (Chladni pattern) 실험이 있다. 클라드니 패턴은 갈릴레오가 처음 발견했으며, 독일의 물리학자인 클라드니 (Chladni, Ernst Florens Friedrich, 1756~1827)가 체계적으로 정리한 것으로, 진동하는 얇은 판 위에 분말을 고루 뿌린 후 그 판을 특정 공진 주파수로 가진할 때 발생하는 판의 고유 진동 모드를 따라 분말들이 이동하며 만들어지는 마디선 (nodal line)들의 형상을 말한다 [6, 7].

본 논문에서는 해금 몸체를 입죽, 현 등과 분리하여 복판이 위로 향하도록 설치하고, 라우드스피커를 이용하여 해금 몸체 공동의 입구 (복판의 반대 쪽) 방향에서 비접촉 방식으로 가진하였다 [5].

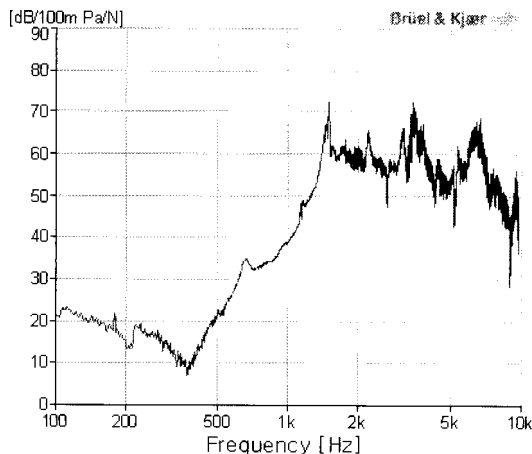


그림 5. 해금 표본 몸체의 복판 방향 전달함수
Figure 5. A transfer function of a Haegeum body which was measured at the front of top plate.

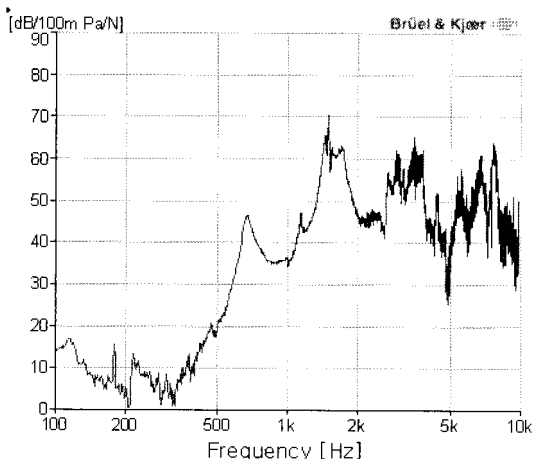


그림 6. 해금 표본 몸체의 공동 입구 방향 전달함수
Figure 6. A transfer function of a Haegeum body which was measured at the body opening.

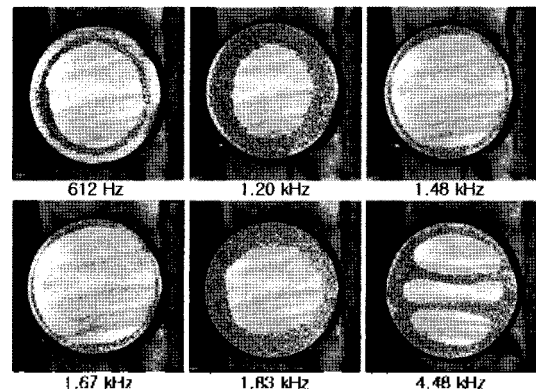


그림 7. 해금 표본 복판의 고유 진동 모드
Figure 7. Chladni patterns of a Haegeum's top plate.

실험 결과 해금 표본 복판의 주요 공진 모드 주파수 및 공진 패턴은 다음 (그림 7)과 같다.

실험 결과, 500~600 Hz 부근에 (0,2) 모드의 공진 모드가 존재하며, 특히 약 1.2~1.9 kHz 대역에서는 (0,1) 모드에 가까운 형태의 무수히 많은 (0,2) 진동 모드들이 밀집하여 주파수 변화에 따라 거의 연속적인 형태로 나타났다. 또한 4~5 kHz 사이에는 그림에서 보이는 바와 같은 독특한 형태의 공진 모드가 나타나기도 하였다.

위 결과로 볼 때, 해금 복판은 특히 약 1.2~1.9 kHz 대역에서 소리를 가장 효과적으로 방사하는 형태로 공진하는 진동 특성을 가지고 있으며, 이는 전달함수 상에서 가장 큰 응답을 보이는 대역 (약 1.4~1.8 kHz)과 정확히 일치한다. 즉, 전달함수 상의 약 1.4~1.8 kHz 대역의 공진점들은 복판의 공진과 밀접한 상관 관계가 있으며, 이 대역의 응답이 가장 크게 나타나는 것은 브리지를 통해 전달된 현의 진동을 공기 중으로 방사하는 역할을 담당하는 일반적인 현악기의 상판 (해금의 경우 복판)이 악기의 소리를 전달하는데 가장 중요한 역할을 담당한다는 사실을 확인시켜준다.

3.2. 해금 몸체 공동 (空洞, air cavity)의 공진 특성

(그림 8)은 해금 몸체의 내부 공간, 즉 공동 (空洞, air cavity)의 단면을 간단하게 나타낸 것이다. 이 공동의 공진 특성을 알아보기 위해, 다음과 같이 우선 비교적 간단한 두 가지 음향학적 모델을 적용하여 계산, 예측해보았다. 또한 앞서 측정된 두 측정 위치, 즉, 공동 입구 방향과 복판 방향의 전달함수를 서로 비교는 방법으로 공동의 공진 주파수를 찾아보고 이를 음향학적 모델로 예측한 공진 주파수와 비교, 확인하는 방법으로 연구를 진행하였다.

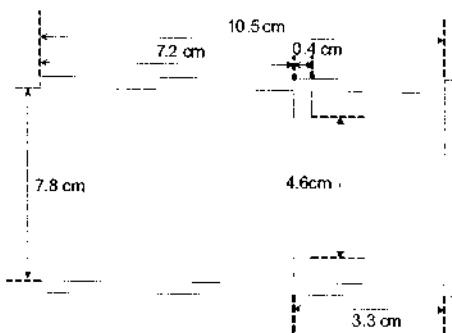


그림 8. 해금 표본 몸체의 단면도
Figure 8. A cross section of the Haegeum body.

3.2.1. 폐관 모델링

(그림 8)을 보면, 울림막의 길이나 두께는 몸체의 길이에 비해 상대적으로 작기 때문에 해금 몸체는 일차적으로 폐관의 형태로 가정할 수 있다. 해금 몸체를 폐관으로 보았을

때의 이론적인 공진 주파수는 끝단 보정 (end correction, 일반적으로 $0.6 \times a$ (a : 관의 반지름))을 고려하면 다음과 같이 구할 수 있다 [6, 7].

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4(l + \Delta l)} = \frac{c}{4(l + 0.6 \times a)} = \frac{344[m/s]}{4 \times 0.1284[m]} = 669.7[Hz]$$

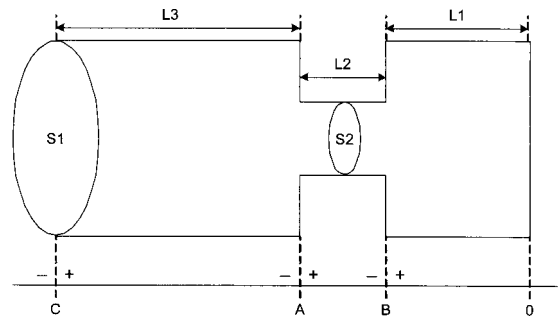
c : 음속 (344 m/s, 20° C)
 λ : 파장
 l : 관의 길이
 a : 관의 반지름

위 식에 해금 표본의 각 치수를 대입하여 계산하면, 해금 몸체 내부의 공동을 폐관으로 가정할 경우의 공진주파수는 약 670 Hz 부근으로 예측할 수 있다.

실제로 앞서 측정된 해금 표본의 전달함수 (그림 6)를 보면 위 계산 결과와 거의 일치하는 주파수 위치에 유의미한 공진점이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그 공진점이 복판 방향, 즉 공동의 영향이 상대적으로 적은 방향에서 측정된 전달함수 (그림 5)에서 응답이 상대적으로 매우 낮게 나타나는 결과로 미루어볼 때, 이는 해금 몸체 공동이 기본적으로 폐관 모델로 동작한다는 가정이 유효함을 의미한다고 볼 수 있다.

3.2.2. 임피던스 관(impedance tube) 모델링

해금 몸체 내부의 울림막 구조를 고려할 때, 여러 음향학적 모델 중 가장 먼저 다음 (그림 9)와 같이 단면이 변화하는 임피던스 관 (impedance tube) 모델을 생각할 수 있다 [7].



(L_1, L_2, L_3 : 관의 길이, S_1, S_2 : 관의 면적)
그림 9. 해금 몸체 내부 공간의 임피던스 관 (impedance tube) 모델링
Figure 9. A impedance tube model of the Haegeum body.

위와 같은 단면이 변화하는 관의 임피던스는 다음과 같이 계산할 수 있다 [8].

$$Z(0) = \infty \tag{2}$$

$$Z(B^+) = \rho_0 c \frac{Z(0) + j \cdot \rho_0 c \cdot \tan(kL_1)}{j \cdot Z(0) \cdot \tan(kL_1) + \rho_0 c}$$

$$= \rho_0 c \frac{1}{j \tan(kL_1)} \approx \frac{\rho_0 c}{jkL_1}$$
(3)

$$Z(B^-) = \frac{S_2}{S_1} Z(B^+) = \frac{S_2}{S_1} \frac{\rho_0 c}{jkL_1}$$
(4)

$$Z(A^+) = \rho_0 c \frac{Z(B^-) + j \cdot \rho_0 c \cdot \tan(kL_2)}{j \cdot Z(B^-) \cdot \tan(kL_2) + \rho_0 c}$$

$$\approx \rho_0 c \frac{Z(B^-) + j \cdot \rho_0 c \cdot (kL_2)}{j \cdot Z(B^-) \cdot (kL_2) + \rho_0 c}$$

$$= j \rho_0 c \frac{S_1 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot k - \frac{S_2}{k}}{S_2 \cdot L_2 + S_1 \cdot L_1}$$
(5)

$$Z(A^-) = \frac{S_1}{S_2} Z(A^+)$$

$$= j \left(\frac{\rho_0 \cdot S_1^2 \cdot L_1 \cdot L_2}{S_2(S_2 L_2 + S_1 L_1)} \omega - \frac{\rho_0 c^2 \cdot S_1}{(S_2 L_2 + S_1 L_1) \omega} \right)$$
(6)

$$Z(C^+) = \rho_0 c \frac{Z(A^-) + j \cdot \rho_0 c \cdot \tan(kL_3)}{j \cdot Z(A^-) \cdot \tan(kL_3) + \rho_0 c}$$

$$\approx \rho_0 c \frac{Z(A^-) + j \cdot \rho_0 c \cdot (kL_3)}{j \cdot Z(A^-) \cdot (kL_3) + \rho_0 c}$$

$$= j \frac{C \cdot \omega - \frac{D}{\omega}}{A - B \cdot \omega^2}$$
(7)

$$A = c^2(S_1 S_2 L_1 + S_1 S_2 L_3 + S_2^2 L_2),$$

$$B = S_1^2 L_1 L_2 L_3,$$

$$C = \rho_0 c^2(S_2^2 L_2 L_3 + S_1 S_2 L_1 L_3 + S_2^2 L_1 L_2),$$

$$D = \rho_0 c^4 S_1 S_2$$

ρ_0 : 매질(공기)의 밀도

k : 파수(wave number)

ω : 각주파수($2\pi f$)

이때, $Z(C^+)$ 가 0이 되는 주파수, 즉 공동의 임피던스 모델 공진주파수는 약 3573 Hz 이다.

앞서 측정한 해금 표본의 전달함수 (그림 4)를 보면, 2~4 kHz 부근에 부수히 많은 공진점들이 존재하여 이들 중 임피던스 관 모델과 상관 관계가 있는 특정 공진점을 확인하기가 쉽지 않다.

이 결과는 크게 두 가지로 해석할 수 있다. 하나는 임피던스 관 모델이 유효할 경우, 울림막은 복판이나 폐관 모델로서의 몸체 공동 등에 비해 해금의 소리에 유의미한 영향을 미치지 못한다는 것이며, 다른 하나는 임피던스 관 모델이 유효하지 않은 모델이었을 수 있다는 것이다. 전자의 경우, 실제 공진점이 존재하는지를 확인할 추가 분석이나 실험이 필요하며, 후자의 경우에는 가능한 다른 음향학적 모

델들을 가정하고 계산하여 그 결과를 측정된 전달함수와 비교하는 과정을 다시 거쳐 좀 더 유효한 모델을 찾아야 할 것이다.

3.2.3. 해금 몸체 공동의 공진 주파수 추가 분석

다음 (그림 10)은 해금 표본의 두 측정 위치 (공동 입구와 복판)에서의 전달함수 차이를 구한 결과인데, 가로축 (ω)을 기준으로 각 주파수에서 세로축의 양 (+)의 방향은 공동 입구에서 측정된 전달함수 응답이 우세한 것을 의미하며, 음 (-)의 방향은 반대로 복판 방향의 전달함수 응답이 우세함을 의미한다. 즉, 그림에서 양의 방향의 유의미한 피크 (peak)는 그 부분의 공진점이 몸체 공동의 공진점과 상관 관계가 큰 것으로 해석할 수 있다.

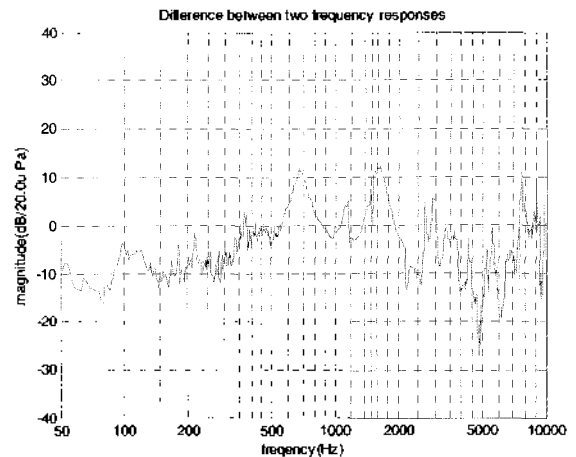


그림 10. 해금 표본 몸체 각 두 방향(공동 입구, 복판) 전달함수의 차이
Figure 10. The difference of the transfer function which was measured at the air cavity opening from that which was measured at the front of top plate.

그림을 보면, 각각 600~700 Hz 구간, 1.5~1.8 kHz 구간에 뚜렷한 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는, 이 부근의 공진점들이 복판 보다는 몸체 공동과 상관 관계가 크다는 것을 의미하며, 특히 그 중 600~700 Hz 구간의 공진점은 폐관으로 가정할 때의 기본 공진주파수 (약 670 Hz)와 거의 일치한다. 앞의 임피던스 관 모델의 공진점 (약 3573 Hz) 부근에도 약한 피크가 나타나는 것으로 보아, 임피던스 관 모델도 어느 정도 유효한 모델로 생각할 수 있으나, 1.5~1.8 kHz 구간에 좀 더 큰 응답을 갖는 공진점이 존재한다는 점은, 해금 몸체 공동이 폐관이나 임피던스 관과는 또 다른 형태의 음향학적 구조로도 동작하고 있음을 의미한다. 이 부분에 대해서는 가능한 다른 음향학적 모델들을 가정하고 그 유효성을 검증하는 과정 등의 추가 연구가 이루어져야 할 것이다.

IV. 결론

본 논문에서는 해금의 음향학적 특성 연구를 위한 첫 단계로 해금 몸체의 공진 특성을 다양한 측정 실험과 분석 방법을 통해 연구하였다. 먼저 일반적인 전통 해금 표본 몸체의 전달함수를 측정하였고, 측정한 몸체 전달함수의 주요 공진점들과 복판 (top plate), 몸체의 공동 (空洞, air cavity) 등 해금 몸체 주요 부분 사이의 상관 관계를 찾기 위해, 복판의 진동 모드를 찾기 위한 클라드나 패턴 (Chladni pattern) 실험, 해금 몸체 내부 공동의 공진 특성을 음향학적 모델링을 이용하여 계산, 예측하는 등의 연구를 수행하였다.

그 결과, 해금 몸체는 1.4~1.8 kHz 대역에 가장 큰 응답을 갖는 공진점들이 밀집해 있는데, 이는 복판의 주요 공진 모드와 밀접한 상관 관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 600~700 Hz 대역의 공진점은 해금 몸체 내부 공동을 폐관으로 가정했을 때의 공진주파수와 거의 일치하고 있었다. 울림막이라 불리는 몸체 내부의 구조는 1.5~1.8 kHz 구간 또는 3 kHz 부근의 공진점과 상관 관계가 있을 것으로 생각되지만, 이를 확인하기 위해서는 추가 연구가 필요하다.

이러한 일련의 연구 과정을 통해 해금 몸체의 기본적인 음향학적 특성을 파악할 수 있었다. 몸체 공동의 공진 특성에 대한 추가 연구 및 본 연구에서 고려되지 않았던 워통형 몸체 옆면이나 입죽 등의 공진 특성, 해금의 연주음색, 음향 방사 패턴 등은 앞으로 추가 연구가 진행될 것이다. 또한 가능한 한 많은 수의 해금 표본에 대한 측정을 수행하여 그 결과들을 축적함으로써 연구 결과의 일반성을 확립하는 과정 또한 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 서한범, 국악동론, (태림출판사, 2000)
2. Carleen Maley Hutchins, Virginia Benade, *Research Papers in Violin Acoustics 1975-1983*, (Acoustical Society of America, 1997), 1, 19-34.
3. 고현우, 노정욱, 성평모, "충격응답을 이용한 가야금 인죽의 전달 특성에 대한 연구", 한국음향학회 춘계학술발표대회 논문집, 24, 1(s), 2005.
4. Hyun-Woo Koh, Jung Uk Noh, Koeng-Mo Sung, "A study on the anjok(bridge) of the gayageum using impulse response method". The 9th Western Pacific Acoustics Conference 9, 2006.
5. N. E. Molin, L-E. Lindgren, Erik V. Jansson, "Parameters of violin plates and their influence on the plate modes", J. Acoust. Soc. Am. 83 (1), 1988.
6. T. D. Rossing. *The Science of Sound, 2nd edition*, (Addison

Wesley, 1990)
 7. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, *Fundamentals of acoustics*. (Wiley, 2000)
 8. 박상하, 노정욱, 아이름, 성평모, "충격응답전달함수를 이용한 해금 몸체의 음향학적 특성에 관한 연구", 한국음향학회 춘계학술발표대회 논문집, 26, 1(s), 2007.

저자 약력

• 노 정 욱 (Jung Uk Noh)



2000년 8월: 서울대학교 전기 컴퓨터공학부 (학사)
 2003년 2월: 서울대학교 대학원 전기 컴퓨터공학부 (공학석사)
 2003년~현재: 서울대학교 대학원 전기 컴퓨터공학부 박사 과정

• 박 상 하 (Sang Ha Park)



2005년 2월: 서울대학교 음악대학 기악과 졸업 (학사)
 2006년~현재: 서울대학교 대학원 전기 컴퓨터공학부 석사 과정

• 성 평 모 (Koeng-Mo Sung)



1965~1971: 서울대학교 전자공학과
 1971~1973: 독일 아헨공대 Vordiplom
 1973~1977: 독일 아헨 공대 전자통신공학 Dipl.-Ing.
 1977~1982: 독일 아헨공대 음향공학 Dr.-Ing. (공학박사)
 1977~1983: 독일 아헨공대 음향공학연구소 연구원
 1983년~현재: 서울대학교 전기 컴퓨터공학부 교수