

범종을 대상으로 하는 구조-음향 연성계의 음향 전달 특성

Acoustic Transmission Characteristics of the Structural-Acoustic Coupled System for Temple Bell.

강연준† · 정원태* · 김정수* · 김석현**

Yeon-June Kang, Won-Tae Jeong, Jung-Soo Kim and Seock-Hyun Kim

1. 서 론

범종의 아름다운 소리는 그 우수성을 전 세계적으로 인정받고 있으며, 발생 메커니즘은 음향학적으로 흥미로운 연구 대상이 되고 있다. 기존 연구에서는 주로 종체의 맥놀이 현상에 의한 진동 및 음향 방사 특성에 대한 연구가 진행되어 왔으나 종체 내부에 존재하는 공동의 역할에 대한 연구는 크게 이루어지지 않은 상황이다. 맥놀이 현상에 의한 종체의 진동에 의해서 발생하는 종소리는 종체 내부에 존재하는 공동의 음향 특성에 의해서도 영향을 받을 것으로 생각되어져 왔다. 하지만 내부 공동의 음향 특성에 의한 종소리 변화의 메커니즘과 변화 정도에 대한 정확한 규명은 밝혀지지 않은 상태이다.

본 연구에서는 종체와 간극을 포함하는 내부 공동을 대상으로 하는 구조음향 연성계의 음향 전달 특성에 대해서 실험적 방법을 통해서 분석하고자 한다. 긴 여음을 만듦으로써 종소리에 큰 영향을 미치는 1차 진동음과, 진동음 주파수 주변에 존재함으로써 1차 진동음과 연성 가능한 음향 모드를 대상으로 분석을 수행하였다. 1차 진동음의 진동 형태와 연성 가능한 음향 모드의 음장 분포를 확인함으로써 연성 메커니즘을 파악하였다. 간극의 크기 변화에 따른 음향 모드의 특성 변화에 대해서 살펴보았다. 음향 모드의 특성 변화에 따른 공동 내부와 외부 응답점에서의 음압 크기를 측정함으로써 상호 관계를 분석하였다.

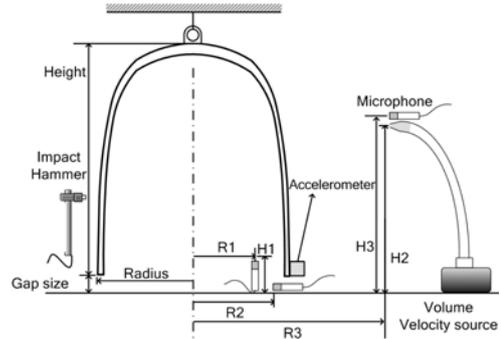


Fig. 1 실험 구성 개략도

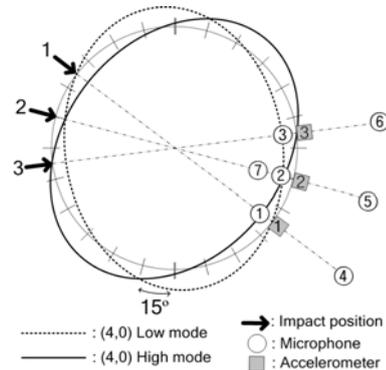


Fig. 2 (4,0) 모드의 진동 형태와 가진 및 측정 위치

변수	R1	R2	R3	H1	H2	H3
값[mm]	98	118	433	70	300	280

표 1. 측정점 위치

2. 범종의 진동/음향 특성 실험 및 해석

임팩트 해머를 통한 가진 실험과 음원 소스를 이용한 가진 실험을 수행하였으며 개략도는 Fig. 1에서 확인 할 수 있다. 첫 번째로 음원 소스를 이용한 실험은 내부 공동의 음향 특성을 알아보기 위해서 외부에서 가진하는 음원 소

스의 크기를 입력으로, 공동 내부의 반경 R1 지점의 마이크로폰 응답을 출력으로 하는 전달함수를 측정하였다. 두 번째는 임팩트 해머를 이용한 실험은 내부 공동의 음향 특성 변화에 따른 공동 내부와 외부 응답점의 음압 크기 변화를 측정하기 위한 실험이다. 이를 위해서 가진력을 입력으로 하고 반경 R2와 R3 지점의 마이크로폰 응답을 출력으로 하는 전달함수를 측정하였다. Fig. 2는 (4,0) 저차 모드(186.4Hz)와 고차 모드(191.9Hz)의 진동 형태와 가진 및 측정 위치를 보여주고 있다. 가진 및 측정 위치에 따라서 응답이 변화기 때문에 가능한 조합의 경우에 대해서 모

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : yeonjune@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-1691, Fax : (02) 880-5950

* 서울대학교 기계항공공학부

** 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

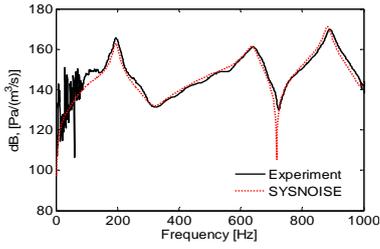


Fig. 3 음원 가진을 통한 내부 공동의 음향 특성

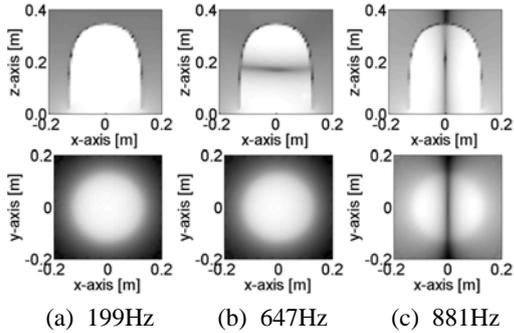


Fig. 4 내부 공동의 음향 모드 형태 : 0  1

두 측정하였다. 실험에 이용한 중체의 반경은 133mm, 높이는 325mm이고 측정점 위치는 표 1에서 기술하고 있다.

Fig. 3은 간극 높이 20mm 조건에서 측정된 전달함수로서 1kHz 내에 3개의 음향 모드가 존재하는 것을 볼 수 있다. 3개의 음향 모드의 형태는 Fig. 4에서 확인 할 수 있으며 1차 진동음과 연성 가능한 모드는 Fig. 4(a)의 헬름홀츠 모드이다.

3.1 간극 변화에 따른 공동의 음향 특성 변화 및 공동 내외부 음압 크기 변화

간극 변화에 따른 공동의 음향 특성 변화는 (4,0) 진동 모드와 연성 가능한 헬름홀츠 모드를 대상으로 분석하였다. Fig. 5(a)는 외부의 음원과 내부의 마이크폰 응답점 사이의 전달함수를 간극 변화에 따라서 측정된 결과이다. Fig. 5(b)는 측정된 전달함수에서 피크점의 주파수를 나타낸 결과이다. 그림에서 f_{low} 와 f_{high} 는 (4,0) 진동 모드의 저차와 고차 고유 진동수를 의미한다.

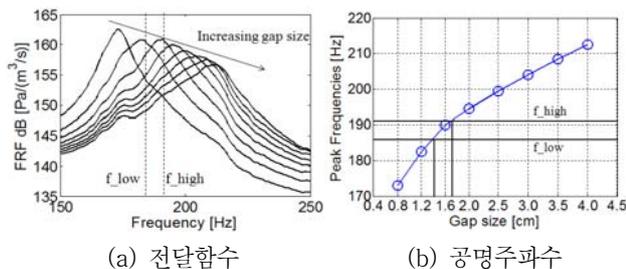
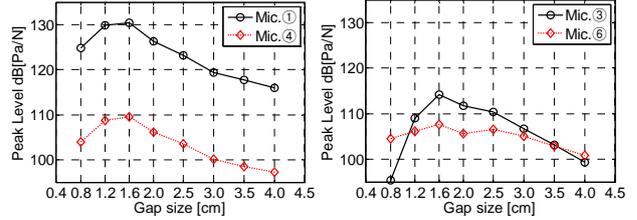


Fig. 5 간극 변화에 따른 헬름홀츠 모드의 음향 특성 변화



(a) 저차 모드(186.4Hz) (b) 고차 모드(191.9Hz)
Fig. 6 간극 변화에 따른 (4,0) 모드 음압 피크 레벨 변화

Fig. 6은 타격 위치 2를 임팩트헤머로 가진하고 공동 내부와 외부의 응답점에서 응답을 측정함으로써 전달함수를 측정된 결과이다. 전달함수를 측정함으로써 동일한 가진력 조건을 만족하도록 하였다. Fig. 6(a)는 측정된 전달함수에서 (4,0) 저차 모드의 피크 레벨 변화를 나타낸 결과이다. 내부 공동의 공명 주파수와 (4,0) 저차 모드의 고유 진동수가 근접하는 간극 구간(1.2~1.6cm)에서 공동 내부와 외부의 전달함수 레벨이 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 6(b)는 (4,0) 고차 모드의 피크 레벨 변화를 나타낸 결과로서 내부 공동의 공명 주파수와 (4,0) 고차 모드의 고유 진동수가 근접하는 간극 크기(1.6cm)에서 공동 내부와 외부의 전달함수 레벨이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6에서 결과를 제시한 응답점의 위치는 각각의 해당 주파수에 내부 공동의 공명 효과에 의해서 전달함수 레벨 변화가 가장 잘 나타나는 지점으로 선택하였다. 이것은 Fig. 2의 (4,0) 모드의 진동 형태와 Fig. 4(a)의 헬름홀츠 음향 모드의 형태를 동시에 고려함으로써 유추 할 수 있는 부분이다. 절선이 존재하지 않은 음향 모드의 경우 중체의 진동 모드와 상호작용 하면서 중체의 진동이 작은 부분에서는 음향 모드에 큰 영향을 받고, 중체의 진동이 큰 부분에서는 중체의 진동에 큰 영향을 받기 때문이다.

4. 결 론

내부 공동의 음향 특성은 간극 변화를 통해서 변화 할 수 있음을 확인하였다. 동일한 가진력으로 타격하는 조건에서, 간극 변화에 따라서 공동 내부와 외부 응답점의 음압 레벨은 큰 변화를 보였다. 그 변화는 내부 공동의 공명 주파수와 중체의 진동 주파수가 근접할수록 음압 레벨은 증가하는 형태였다. 내부 공동의 공명 효과는 중체의 진동이 작은 부분에서 가장 잘 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해서 범종의 종소리는 중체의 진동뿐만 아니라 내부 공동의 공명 효과에 의해서도 큰 영향을 받음을 확인하였다. 또한 간극의 크기 변화를 통해서 공명 효과를 조절할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 교육부의 두뇌한국21(Brain Korea 21) 사업의 지원으로 수행 되었습니다.