

등가 종을 이용한 맥놀이 선명성 조절

Beat Clarity Tuning Using an Equivalent Bell

이중혁* · 김석현†

Joong Hyeok Lee, Seock Hyun Kim

Key Words : Equivalent bell(등가 종), Beat Clarity(맥놀이 선명성), Mode Pair(모드 쌍)

ABSTRACT

As an unique acoustic characteristic of a Korean bell, beat phenomenon is a periodic repetition of strong and weak sounds. Beat sounds good when it is clear and it has a proper period, however, it is not easy to satisfy these two conditions simultaneously. In this study, we propose a beat tuning method to satisfy these two conditions, by using an equivalent bell model. First, we construct an equivalent bell which has the same beat property with the 1st beat of a real bell and we investigate the change of mode pair by finite element analysis, when thickness of the bell is locally decreased at 22.5° from the striking point. From the analysis result, minimum thickness reduction amount is determined to make a clear and strong beat.

1. 서 론

한국 종은 독특한 음향특성으로 동양 종 및 서양 종과 차별화된다. 그 음향특성의 대표적 현상인 맥놀이는 종소리에 생동감을 불어넣어주는 요소이다. 맥놀이는 종의 주조과정에서 발생하는 구경 및 두께의 편차와 표면에 새겨진 복잡한 문양 등과 같은 미세한 비대칭요소에 의해 하나의 모드가 근접한 모드 쌍으로 분리되고, 모드 쌍이 서로 간섭하여 발생한다. 또한 맥놀이는 비대칭성에 의해 주기와 선명도가 결정되고, 적절한 주기와 진폭의 높고 낮음이 명확해야 좋은 소리로 들린다. 이러한 비대칭성은 설계단계에서 예측이 어려우므로, 주조 후에 종 내부를 국부적으로 연삭하여 비대칭성을 인위적으로 변화시킴으로써 맥놀이를 조절하는 과정을 거친다. 그

러나 정확한 연삭량을 알지 못해 시행오차가 일어나고 작업시간이 길어지는 문제가 있다. Kim 등은 원통형 셸 구조에서 미소비대칭성이 맥놀이 주파수에 미치는 영향을 규명하였고,⁽¹⁾ 링 구조물의 맥놀이를 조절하는 방법을 제시한 바 있다.⁽²⁾ 또한 실제 종의 모드 쌍 조건을 만족시키는 등가 종을 구성하여 실험결과와 유사하게 맥놀이 주기 조절 시뮬레이션을 수행한 바 있다.⁽³⁾

본 연구에서는 등가 종을 이용하여 종의 여음을 만드는 1차 모드 쌍의 배치를 변화시켜 선명한 맥놀이를 만드는 방법을 제시한다. 시뮬레이션을 통해 타격지점으로부터 22.5° 위치에서 국부적으로 두께를 감소시켜 모드 쌍의 배치를 확인하고 연삭량을 결정한다.

2. 등가 종 시뮬레이션

시중에 보급된 성덕대왕신종의 기념 축소 종을 대상으로 등가 종을 구성하였으며, Table 1에 시험 종의 주요 제원과 모드데이터를 표시한다. H-mode의 절점이 타격점으로부터 5°에 위치하므로, L-mode가 주로 가진되어 맥놀이가 선명하지 않은

† 교신저자 : 정희원, 강원대학교 기계메카트로닉스공학과
E-mail : seock@kangwon.ac.kr
Tel : 033-250-6372, Fax : 033-257-4190

* 강원대학교 일반대학원 융합시스템공학과 기계메카트로닉스공학 전공

Table 1 Specification of the test bell

Total mass	7.8 kg
Mass density	8800 kg/m ³
Young's modulus	102.3 GPa
Poisson's ratio	0.34
Height	282 mm
Average thickness	7.45 mm
Average diameter	218 mm
1st natural frequency (L, H)	243.36 Hz, 253.91 Hz
H-mode node	5°

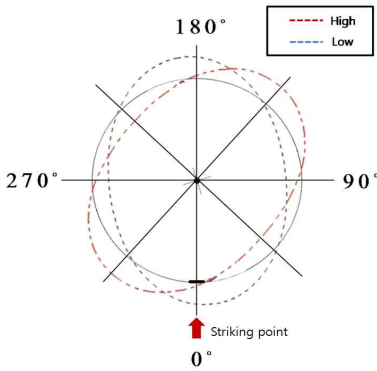


Fig. 2 1st mode pair of the test bell

상태이다. 등가 종의 유한요소해석에는 ANSYS 13.0을 사용하였다. 원주방향으로 144등분, 높이방향으로 40등분하여, 총 6336개의 2차 육면체 요소 (HEX20)로 모델링하였다. Fig. 2에 실험 종의 1차 모드 쌍을 보인다. 선명한 맥놀이는 L-mode와 H-mode가 대등하게 가진될 때 나타나므로, L 또는 H-mode의 배가 타격지점으로부터 22.5°에 위치해야 한다. 판이나 링 요소단면의 굽힘 강성은 두께의 3승에 비례하나 질량은 두께에 비례하므로, 22.5° 위치의 요소의 두께를 국부적으로 감소시키면 그 위치가 L-mode 배가 된다. 본 실험에서는 22.5°를 중심으로 폭 15°, 높이 45mm 부분의 두께를 국부적으로 감소시켰다. Fig. 3에 L-mode 배의 위치 변화를 보인다. 하대 두께 대비 5% 두께감소까지는 L-mode 배의 위치변화가 크다. 그러나 이후 완만해져서 두께 감소 10%에서 절점의 위치는 21.4° 까지 이동하고 이후로는 변화가 거의 없다. 따라서 두께 감소 10% 정도로 연삭하였고, 연삭량은 0.031kg 정도 되었다.

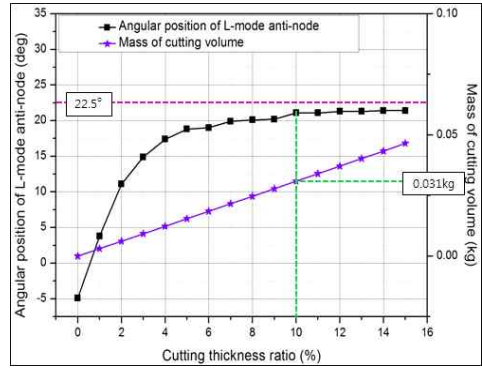


Fig. 3 Angular position change by local thickness decrement

3. 결 론

종의 1차 진동 모드 쌍 조건을 만족하도록 등가 종을 구성하였다. 등가 종을 이용하여 맥놀이의 선명도를 높이기 위한 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 초기상태에서는 H-mode의 절점이 타격점 부근에 있어 맥놀이가 선명하지 않은 상황이었다. L, H-mode를 대등하게 가진하기 위해서 타격점으로부터 22.5° 위치의 두께를 국부적으로 감소시켰다. 10% 정도 두께를 감소시켰을 때, H-mode 절점이 21.4°까지 이동하여 두 모드를 대등하게 가진하는 조건을 만족하였다. 이러한 수치 시뮬레이션 결과는 향후 실험을 통하여 확인할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) S. H. Kim, W. Soedel and J. M. Lee, 1994, "Analysis of the Beating Response of Bell Type Structures", Journal of Sound and Vibration, Vol. 173, No. 4, pp. 517~536
- (2) S. H. Kim, C. X. Cui, 2008, "A Study on the Control of the Beat Clarity and the Beat Period in a Ring Structure," The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 18, No. 11, pp. 1170~1176.
- (3) S. H. Kim, J. H. Lee, 2012, "Beat Period Tuning Method Using an Equivalent Bell Model," The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 31, No. 8, pp. 561~568.