

# 한국종의 진동 맥놀이 튜닝법

## Control Method of the Vibration Beat in a Korean bell

김석현† · C.X.Cui\*

S.H.Kim, C.X.Cui

**Key Words** : Korean bell(한국종), Slight asymmetry(미소 비대칭성), Beat(맥놀이), Equivalent ring(등가링)

### ABSTRACT

In this study, we propose a practical method to improve the clarity and the period of the beat in a Korean bell. Proper beating in vibration and sound is a very important feature in Korean bell. An equivalent ring theory is applied and finite element analysis is performed to determine the condition of the asymmetry of the bell. The clarity and the period of the beat are improved by attaching a counter mass or decreasing local thickness. This paper shows that the amount and position of the local variation for the required beat condition can be predicted by using the equivalent ring model, The predicted results are verified by the experiment.

### 1. 서 론

한국 종에서 중요한 맥놀이를 조절하기 위한 구조 변경 기법을 제시하고, 그 타당성을 실험적으로 검증한다. 맥놀이 효과를 극대화시키기 위해서는 선명한 맥놀이에, 적절한 주기가 필요하다. 설계 단계에서 이러한 조건을 부여하여 종을 구조하는 것은 불가능하므로, 구조 후 튜닝이 필요하다. 본 연구에서는 링의 맥놀이 튜닝 기법을 제시한 선행 연구<sup>(1,2)</sup>의 후속 연구로, 실제 한국 종을 대상으로 튜닝 방법을 소개한다. 주어진 종과 동일한 맥놀이 조건을 갖는 등가 링 모델을 결정하고, 이에 대한 이론과 유한요소해석을 통하여, 요구되는 맥놀이 조건을 만들어 내기 위한 비대칭성의 변경 조건을 예측하고 실험으로 검증한다.

### 2. 등가 링의 결정

2차 등가링은 Fig. 1에서와 같이 n=2의 모드 쌍의 배치 조건과 주파수 쌍을 만족시키는 조건으로부터 결정되는데, 가장 단순한 등가 링은 축대칭 링에 하나의 비대칭 질량을 갖는다. 등가 링을 대상으로 링 이론해석 및 유한요소해석을 수행하면, 구조 변경에 의한 맥놀이 변화를 예측할 수 있으며, 나아가 선명하고 요구되는 주기를 갖는 맥놀이를 만드는 구조변경 조건을 결정할 수도 있다. 등가 링에 대한 상세한 이론은 선행연구에서 기술한 바 있어 여기서는 생략한다. Fig. 1 a)는 연구모델로, 중량 106kg, 높이 65.4cm, 외경 51.0cm, 하대 두께는 2~3cm이다. n=2 모드쌍은 b)와 같으며, 주파수쌍은 127.195Hz, 131.695Hz로 정밀 측정되었다. 이와 동일한 모드쌍 조건을 갖는 유한요소해석모델은 종과 동일한 크기에, E=90.69Gpa, ρ=8800kg/m, ν=0.33를 사용하여, 2.2209kg의 등가 불균일 질량을 L모드의 배(22.5°)에 위치시킴으로써 얻어졌다. 한편 2차 등가링은, 외경 50.98cm, 두께 1.914cm에 동일한 물성치와 등가 불균일 질량을 사용하여, 높이

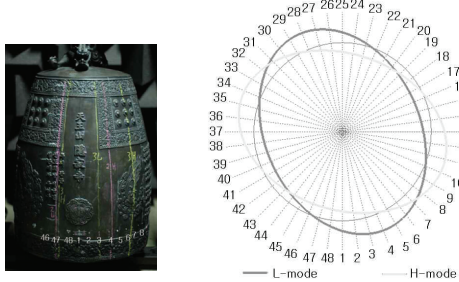
† 교신저자; 정회원, 강원대학교 메카트로닉스공학부

E-mail : seock@kangwon.ac.kr

Tel : (033) 250-6372, Fax : (033) 257-4190

\* 연변대학교 기계공정학부

13.90cm 로 등가링 이론으로부터 결정되었다.



a) Korean bell      b) 2nd mode pair  
Fig.1 Korean bell and n=2 mode pair.

### 3. 맥놀이 조정

좋은 맥놀이의 첫 번째 조건은 선명한 맥놀이이다. 이를 위해서는 타격점(1번 지점)을 중심으로  $\pm 22.5$  도에 L, H 모드 쌍의 배(또는 절점)이 위치하여 모드쌍이 대등하게 가진되어야 한다. 현재 H모드가 더 크게 가진되어 선명하지 못하다. 두 번째 조건은 맥놀이의 주기이다. 현재의 맥놀이 주기는 0.222초로 급한 편이다. Fig.2의 곡선은 등가링 이론을 이용하여 구한 선명한 맥놀이를 만들기 위한 2차 질량의 부착 위치와 크기에 따른 맥놀이 주기를 표시한다. 유한요소해석치와 측정결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. Fig.2는  $78.75^\circ$  위치에 0.647kg의 2차 질량을 부착시킬 때, 0.30초의 주기를 예측한다. 튜닝실험 결과, 맥놀이주기는 0.32초로 예측치에 근접하였다. 튜닝 전후의 타격음을 Fig.3에 보인다.

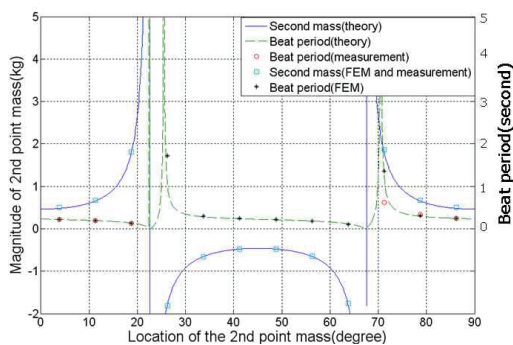


Fig.2 2nd mass position and size for clear beat vs. period.

실제로는 국부적으로 연삭해서 두께를 감소시켜 맥놀이를 조절하는데, 유한요소해석을 이용하면 위에

서와 동일한 과정을 거쳐 맥놀이의 변화를 예측할 수 있다.

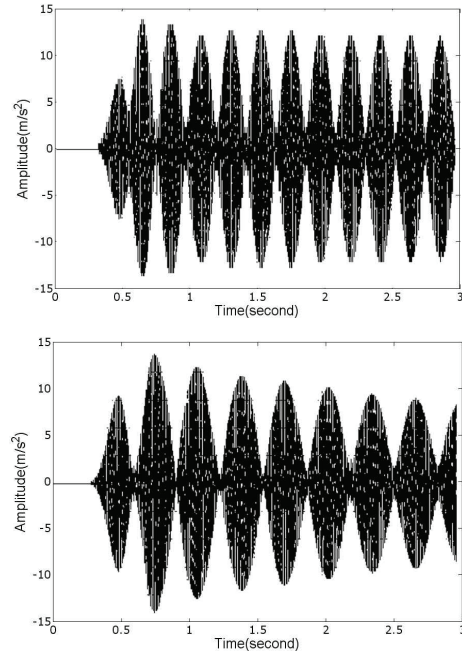


Fig.3 Beat before and after tuning.

### 4. 결 론

한국 중에서 요구되는 맥놀이 조건을 만족시키기 위한 2차 비대칭 질량 및 국부적 두께 감소의 크기와 위치를 등가 링 이론 및 유한요소해석으로 구하였다. 예측한 결과는 실험치에 매우 근접하였다. 제시된 방법을 이용함으로써, 선명함과 동시에 요구되는 주기를 갖는 맥놀이가 나오도록, 비대칭성을 효과적으로 개선할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

(1)H.G.Park, S.H.Kim, Y.J.Kang, 2008, "Dual mode tuning strategy of a slightly asymmetric ring", Journal of Acoustical Society of America, Vol.123(3), pp.1383~1391.  
(2)김석현, C.X.Cui, 2008, "링구조물의 맥놀이의 선명도와 맥놀이 주기 조절에 관한 연구", 한국소음진동공학회 논문집, 제18권 11호, pp.1170~1176.