

# 편경의 기억자형 모양에 따른 조율 효과

유준희

서울대학교 물리교육과

## Tuning effect of L-shape on Pyeon-gyoung

Junehee Yoo

Department of Physics Education, Seoul National University, yoo@snu.ac.kr

### 요약

편경의 기억자 모양은 하늘이 굽어 땅을 덮는다는 철학적인 의미를 가지고 있지만, 그보다는 기하학적인 구조를 통한 조율의 한 방안이었음이 가정된다. 고대 중국에서 발견된 편경은 오각형의 모양을 하고 있으나 청대에 발견된 편경은 기억자 모양을 가지고 있는 것이 이러한 가정을 뒷받침한다. 본 연구에서는 FEM 을 통한 편경의 기하학적 구조에 따른 떨기방식의 진동수를 추정하여 편경의 기억자 모양이 조율의 한 방안이었음을 제안한다.

### 1. 서론

악학재범에서는 경의 기억자 모양에 대해 “주례도에 옛날에 경을 만들 적에 아래로 드리워지는 형상을 하여, 하늘이 서북쪽으로 기울어지는 것을 형상하니, <그것은 하늘이> 굽어서 아래로 덮는 뜻이다”로 기술하고 있다. [1] 경이 기억자 모양은 사각형 모양을 가진 고(股)와 고(鼓) 사기의 각도가 115 °이고 하단선이 활모양을 이룸으로써 만들어진다.

한편 그림 2 에서 제시된 바와 같이 고대 중국 무덤에서 출토된 경의 모습 시대에 따라 살펴보면, 초기에는 각도( $\alpha$ )가 작고 하단선이 직선이었다가 점차로 호의 모양으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 특히 청대인 15 세기에 발견된 경의 모양은 조선시대의 편경과 거의 동일하다. 이렇게 시대에 따라 경의 모양이 변화하는 것은 배음을 조정하는 한 방안으로 추정되어왔으나[2], 이를 입증하는 자료는 거의 제출되지 않고 있다.

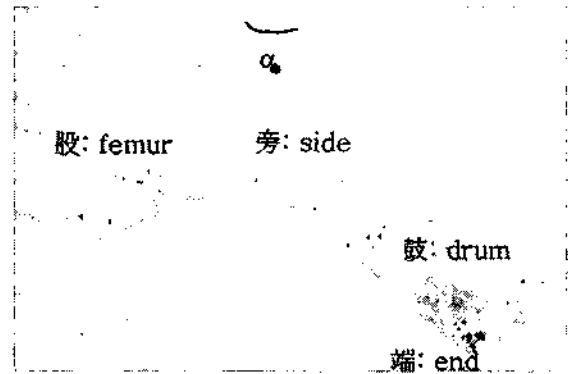


그림 1. 조선의 편경을 본떠 만든 기억자 모양의 경

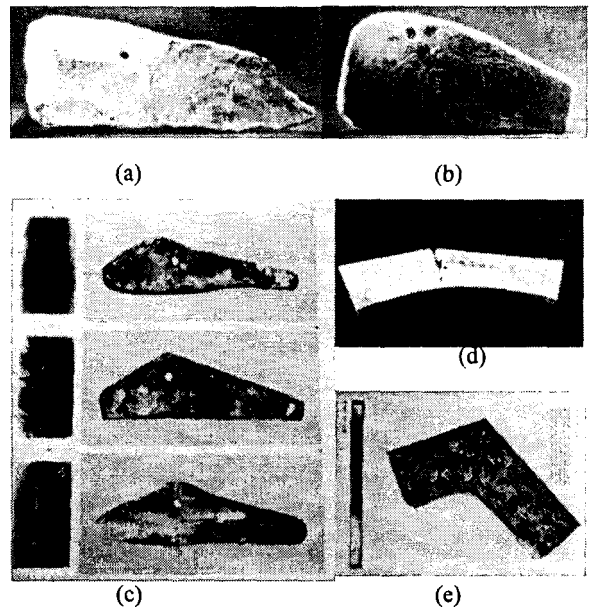


그림 2. (a) 구석기 시대에 제작된 것으로 추정되는 중국의 특경[3], (b) 호랑이 무늬가 새겨진 특경[3], (c) 중국 은허지역에서 출토된 편경, 제작년대 BC. 16-10세기 추정[3], (d) 중국 이후작의 묘에서 출토된 편경 중 황종(C5), 제작 연대 B.C. 433 추정[4], (e) 중국 청대의 편경 중 임종으로 제작연대 A.D. 1717.[2]

## 2. 유한요소해석을 위한 경의 모형 구축

최근에 제작된 편경(그림 1)을 기준으로 모형을 구축하고 그 분석 결과를 기존에 측정한 진동수 스펙트럼 및 떨기방식의 모양과 비교하였다.[5] 또한 중국 이후작의 묘에서 출토된 경의 실측 자료를 바탕으로 기억자가 아닌 경의 모형을 구축하여 유한요소 해석 범용 프로그램인 Ansys 를 이용하여 각 배음의 진동수 및 진동 양식을 추정하였다. 경의 기억자 모양과 관련된 변인은 상단의 각( $\alpha$ )와 하단선의 모양으로 보고 이 두가지를 변화시킨 모형을 각각 4 개씩 구축하여 분석하였다.

### 2.1 각도( $\alpha$ )를 변화시킨 모형

편경의 가하학적 구조를 정하기 위하여 최근에 제작된 편경을 기준으로 그림 3 과 같이 각변과 모서리 각의 이름을 정하였다. 그리고 이를 모형 PGC116 으로 명명하였다. 중국 이후작의 묘에서 발견된 경 중 황종으로 추정되는 윗 줄의 7 번째 경은 파손된 채 출토되어 음의 높낮이를 측정하지 못하였으나 각 변의 길이, 각도 및 두께는 실측되어 보고되었다. [4] 이를 모형 BQ163 모형이라고 하였다. BQ163 에서 각도  $\alpha$ 를 140, 115 로 조정하여 모형 BQ 140, BQ 115 를 구축하였다. 각 모형은 그림 4 에서 제시하였다.

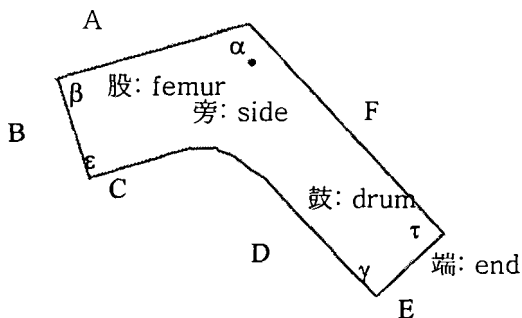
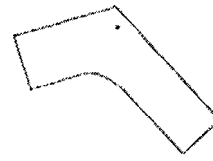


그림 3. 경의 각부분에 대한 명칭

편경의 모형인 PGC 116의 길이, 두께, 밀도 등은 모두 실측하였으며, 그 값은 표 1에 나타났다. 중국 이후작의 묘에서 출토된 경의 모형인 BQ165은 중국에서 실측값으로 보고된 길이, 두께, 각도 등은 사용하였다.[4] 그러나 기본음은 측정되지 않았다. 모형 BQ

140, BQ115 등에서 고사이의 각도  $\alpha$ 를 변형시킨 중간 과정의 모형이다.



PGC116 Model



BQ163 Model



BQ 140 Model

BQ115 Model

그림 4. 고사이의 각도에 따라 구축한 4 개의 모형

	PGC	BQC163	BQC140	BQC115
Note	C5(527Hz)	C5	-	-
$\alpha$	115.9°	163°	140°	115°
A	29.5 cm	22.3 cm	22.3 cm	22.3 cm
B	15.9 cm	13.5 cm	13.5 cm	13.5 cm
C	22.0 cm	21.0 cm	-	-
D	33.5 cm	27.5 cm	-	-
E	14.4 cm	10.8 cm	10.8 cm	10.8 cm
F	44.4 cm	32.4 cm	32.4 cm	32.4 cm
CD	-	54.1 cm	-	-
H	2.70 cm	2.68 cm	2.68 cm	2.68 cm
$\beta$	90°	81°	81°	81°
$\epsilon$	90°	90°	90°	90°
$\gamma$	90°	89°	89°	89°
$\tau$	90°	85°	85°	85°

표1. 모형별 경의 길이와 각도

### 2.2 하단선의 모양을 변화시킨 모형

경의 하단선을 조선시대의 편경과 같이 활모양, 이후작 묘의 편경과 같은 꺾인 모양, 두번 꺾인 모양, 및 직선 모양으로 구분하여 그림 5 와 같이 네 개의 모형을 구축하였다.

BQ115 Model

BQ115a Model

BQ 115t Model

BQ115sb Model

그림 5. 하단선의 모양에 따라 구축한 4 개의 모형

### 2.3 경의 물질적 특성

진동수 및 진동양식을 분석하기 위해서는 경의 밀도, 영률(Young's Modulus)와 푸아송의 비(Poisson Ratio)가 필요하다. 밀도는 현재 사용되는 편경의 밀도를 실측하였으나 영률과 푸아송의 비를 측정하기 불가능하여 참고자료를 활용하여 추정하였다.[5] 추정된 값이 타당한지 확인하기 위해서 PGC 115에 대해 실측한 떨기방식 진동수 및 모양을 Ansys의 결과와 비교하였다. 그 결과 근래에 만들어진 편경의 영률과 푸아송의 비는 다음과 같이 추정되며, 이 추정치를 다른 모형에도 적용하였다.

편경의 밀도: 2382 kg/m<sup>3</sup>

Young's Modulus: 7.28 x 10<sup>10</sup> N/m<sup>2</sup>

Poisson Ratio: 0.273

## 3. 결과

최근에 제작된 편경의 실측한 떨기방식 진동수와 그림 4 에서 제시한 네 개의 모형에 대해 유한 요소 분석을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

### 3.1 각 모형의 진동방식 진동수

표 2 에 제시된 결과 중 PGC (sound)는 경의 소리를 실측하여 분석한 결과이며, 네 개의 모형에 대한

결과는 Ansy 를 통해 분석한 결과이다. 실측한 PGC(sound)의 결과 PGC116 모형의 결과를 비교하면, 두 결과가 일치하며, 그 결과 구축한 PGC116 모형이 유효하다고 판단할 수 있다.

N	PGC(sound)		PGC116		BQC163		BQC140		BQC 115	
	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF
1	527	100	527	1.00	591	1.00	756	1.00	972	1.00
2	809	1.54	809	1.54	1357	2.29	1378	1.82	1471	1.51
3	1245	2.36	1232	2.34	1558	2.63	1781	2.35	2114	2.18
4	1633	3.10	1624	3.08	1607	2.72	2963	3.92	3109	3.20
5	2207	4.19	2202	4.18	3356	5.67	3657	4.84	4016	4.13
6	2703	5.13	2701	5.13	5022	8.64	4893	6.47	5230	5.38

Freg: frequency, RF: Relative Frequency

표 2. 각도(α)를 변화시킨 모형의 떨기방식 진동수와 상대진동수

모형 BQC 163 에 대한 결과는 이후각의 모에서 출토된 경의 크기를 대입하고 모형 PGC116 으로 추정된 밀도, 영률, 푸아송의 비 등을 대입하여 분석한 것이다. 그 결과, 모형 BQ 163 의 기본 진동수는 기억자형인 현재의 편경보다 상당히 높아지며, 첫번째 배음 진동수와 기본 진동수의 비는 1.5 에서 2.3 이 된다. 그러나 BQ163 모형에서 고사야의 각을 140, 115 도로 줄이면, 기본 진동수와 첫번째 배음 간의 비율이 1.8, 1.5 로 나타난다.

### 3.2 경의 진동양식 모양

TV 홀로그래피 등을 통해 실측한 편경의 떨기방식 모양(그림 6)과 Ansys 를 사용하여 얻은 떨기방식 모양(그림 7)을 비교하면 거의 일치함을 볼 수 있다. 따라서 Ansys 를 이용한 분석 방법이 유효하다고 할 수 있다. 중국 이후각의 모에서 출토된 편경의 진동양식을 Ansys 로 분석한 것이 그림 8 에 제시되었다. 이는 기존에 TV 홀로그램으로 얻은 진동양식 모양과 일치한다.

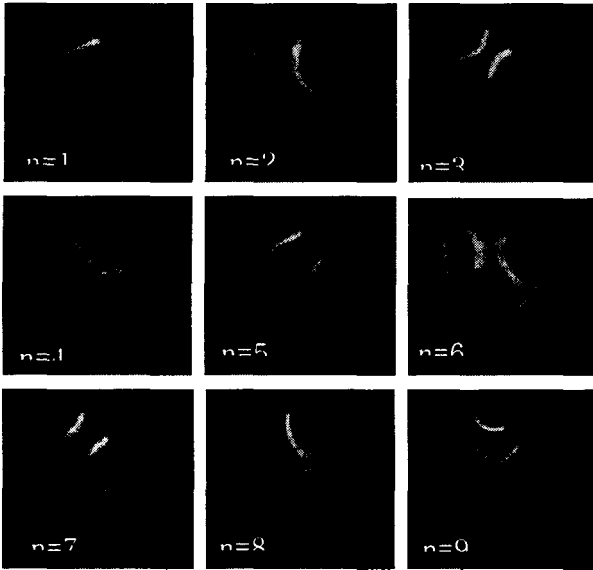


그림 6. TV 홀로그래피에 의한 경의 진동양식 모양

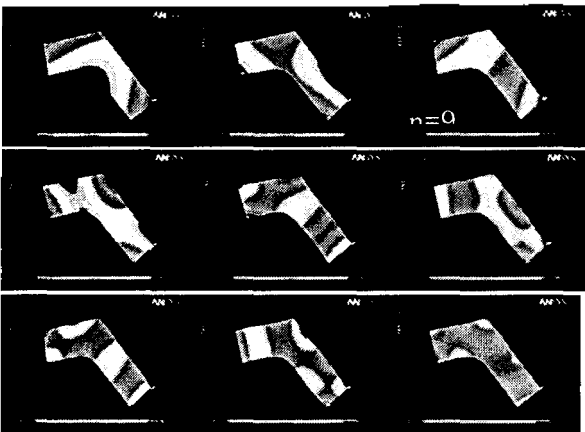


그림 7. Ansys로 추정된 PGC 116의 진동양식 모양

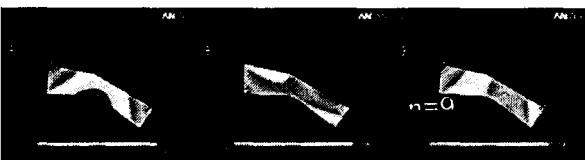


그림 8. Ansys로 추정된 BQ 163의 진동양식 모양.

### 3.3 하단선의 모양과 진동방식 진동수

각도( $\alpha$ )가 같은 경우 하단선의 모양을 변화시킨 모형에 대한 결과는 <표 3>에 제시되었다.

N	BQC 115		BQC115a		BQC115t		BQC115sb	
	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF	Freq (Hz)	RF
1	972	1.00	940	1.00	984	1.00	941	1.00
2	1471	1.51	1403	1.49	1532	1.56	1521	1.62
3	2114	2.18	2036	2.17	2312	2.35	2971	3.16
4	3109	3.20	3122	3.32	3075	3.12	3807	4.04
5	4016	4.13	4031	4.29	3987	4.05	4010	4.26
6	5230	5.38	5179	5.51	5641	5.73	5166	5.49

Freq: frequency, RF: Relative Frequency

표 3. 하단선의 모양을 변화시킨 모형의 진동양식 진동수와 상대진동수

표 3을 보면 하단선의 모양은 기본 진동수와 첫번째 배음의 비율 각도( $\alpha$ )에 비해서 상대적으로 미세조정함을 알 수 있다. 하단선이 직선인 경우 첫번째 배음이 가장 높으며, 직선에서 안으로 많이 각여갈수록 첫번째 배음이 낮아짐을 볼 수 있다.

### 4. 논의

조선시대 편경의 경우, 유한요소해석을 한 결과는 실측한 진동양식 진동수 및 모양과 상당히 일치하였다. 상단의 각도 ( $\alpha$ )와 하단선의 모양에 의해 진동양식 진동수가 조정되는 결과를 얻었으며, 편경의 기역자 모양은 현재와 같은 진동수 스펙트럼을 얻기 위해 최적화된 구조임을 알 수 있다. 이것은 마림바에서 조율을 위해 하단을 깎는 것과 같은 역할을 한다.

### 참고문헌

1. 신혜주 역, *신역악학개법*, 국립국악원, 2000.
2. Kuttner, F. A. *The Archaeology of Music in Ancient China: 2,000 Years of Acoustical Experimentation 1400 B.C. - A. D. 750*, Paragon House, New York, 1990.
3. Research Institute of Music Chinese Academy of Arts, *A Pictorial Guide to the History of Chinese Music*, People's Music Publishing House, Beijing, China, 1988.
4. The Museum of Hubei Province, *The Tomb of Marquis Yi of State Zeng Book Two*, Cultural Relics Publishing House, Beijing, 1989
5. Yoo, J. & Rossing, T.D. Vibrational modes of pyen-gyoung; Korean chime stone, *ISMA 2004 Proceedings*, International Symposium on Musical Acoustics, 2004.