

브릿지가 피아노 향판의 진동특성에 미치는 영향에 대한 연구

윤성용, 김윤정, 최인용, 성필모
서울대학교 전기컴퓨터공학부 음향공학연구소

The effect of bridge on vibrational characteristics of piano soundboard

Sung-Yong Yoon, Yoon Jung Kim, In Yong Choi, Koeng-Mo Sung

Applied Acoustics Laboratory, Seoul National University
dragon1@acoustics.snu.ac.kr

요약

피아노 향판의 진동 특성은 피아노 음질을 결정짓는 매우 중요한 요소이다. 그런데 피아노를 제작함에 있어 브릿지를 향판에 부착함으로써 진동 특성이 브릿지 부착 전과 달라지게 된다. 본 연구에서는 브릿지가 부착되지 않은 피아노 향판의 진동 특성을 측정 한 후 동일한 향판에 대하여 브릿지를 부착한 상태에서의 진동 특성을 클라드니 패턴을 이용하여 비교, 측정하였다. 두 경우에 대한 비교 측정 결과 저주파에 대해서는 진동 특성이 큰 차이를 보이지 않지만 고주파에 대한 진동 특성은 크게 달라짐을 확인할 수 있었다.

1. 서론

피아노의 향판은 브릿지를 통해 현의 진동을 전달받아 이를 증폭하는 역할을 한다. 따라서 향판의 진동 특성은 피아노 음질에 직접적인 영향을 미치며, 이 때문에 향판에 대한 여러 선행 연구가 있어 왔다.

그러나 향판에 대한 연구는 여러 장애요소를 지닌다. 완전히 조립된 상태인 그랜드 피아노의 경우 향판 위로 프레임과 현이 지나고 있어 클라드니 패턴을 관찰하는 것이 어려운데다가 주요 진동 지점에 대한 측정기기의 접근마저도 쉽지 않다.

이 때문에 한편으로 브릿지, 프레임, 현 등이 부착되지 않은 따로 분리된 향판의 진동 특성에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이렇게 분리된 상태의 향판이

가지는 진동 특성은 완성된 피아노에서의 진동 특성과 다를 것이므로 그 차이를 분석하는 것이 분리된 향판의 진동 특성 연구에 선행되어야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 브릿지가 부착되지 않은 향판의 진동 특성을 조사한 후 이 향판에 브릿지를 부착하고 나머지 조건은 같은 상태에서 진동 특성을 재조사하였다. 진동 특성의 분석은 클라드니 패턴(Chladni pattern)을 이용했다.

2. 이론적 배경

일반적으로 얇은 판이나 막은 주어진 경계 조건 등에 의하여 어느 특정한 주파수 대역에서 큰 진동을 일으키는 모드(mode)를 가진다. 이 주파수를 공진 주파수라고 하는데 악기의 향판을 주파수 전달 함수로 이해할 때 이 공진 주파수는 그 함수의 중요한 특징이 된다.

공진 주파수에서는 판의 진동으로 인하여 특징적인 'node pattern'이 형성된다. 여기서 node란 판이 진동할 때 진폭이 0이 되는 지점을 의미하며 2차원의 진동판에서는 이러한 node가 점으로 나타나지 않고 주로 선 형태의 nodal line으로 나타나게 된다.

이러한 판의 진동 특성을 분석하기 위한 경제적이며 효율적인 방법이 클라드니 패턴이다. 판 위에 분말을 고루 뿌린 후 공진 주파수로 가진시키면 분말들이 비교적 흔들림이 없는 node 쪽으로 이동을 하게 되어 결국 이 분말들은 nodal line의 모양을 형성하게 된다. 이를 클라드니 패턴이라 한다.

3. 실험 방법

실험에는 185cm 크기 그랜드 피아노용 향판이 이용되었다. 실험은 브릿지를 부착하기 전과 부착한 후 각각의 진동 특성을 살펴보고 비교하는 것으로 이루어졌다. 브릿지에 대한 영향만을 분석하기 위하여 브릿지 부착 전과 부착 후에 작업 공간의 특성이나 방수 발생기, 앰프, 스피커 등 가진용 기기, 블라드니 패턴 관찰에 사용되는 분말 등 다른 조건들은 모두 동일하게 유지되었다. 또한 완성된 피아노의 향판과 같은 경계 조건을 만들기 위하여 브릿지 부착 전과 부착 후 모두 실제의 림이 설치된 상태에서 실험하였다.

Test signal로는 디지털 함수 발생기로 발생시킨 정현파를 이용하였으며 향판의 가진은 접촉식 가진기를 이용하지 않고 스피커를 사용하는 비접촉식 방법을 이용하였다. 앰프로 증폭된 신호를 향판 아래쪽 약 5cm 지점에 위치한 충분한 용량의 스피커로 지생하였다. 이러한 과정을 통해 공진이 생기는 주파수를 찾은 후, 낮은 주파수로부터 각각의 공진 주파수에서 향판을 가진시켰다. 여기서 나타나는 블라드니 패턴, 곧 nodal line을 스케치하고 여러 각도에서 디지털 카메라로 촬영했다.

4. 결과

mode no.	브릿지 부착 전		브릿지 부착 후	
	주파수 (Hz)	nodal line 개수*	주파수 (Hz)	nodal line 개수*
1	55.0	1	57.0	1
2	89.0	2	106.9	2
3	131.3	2	121.5	2
4	137.8	3	173.2	4
5	144.0	3	197.0	4
6	171.6	4	256.4	5
7	190.8	4	283.0	5
8	211.2	5	304.7	5
9	224.2	5	341.8	6
10	248.7	6	384.0	7
11	277.5	7	427.8	6
12	288.0	6	511.3	9
13	308.1	8	672.8	12

*정확하게는 'nodal line이 형성한 폐곡선의 개수'라 할 수 있다.

표 1. 공진 주파수와 nodal line의 개수.

브릿지 부착 전과 부착 후에서 공통적으로 13개의 공진 주파수를 발견할 수 있었다. 표 1의 mode no.는 주파수가 낮은 것부터 그 번호가 부여되었다. 그러나 13개의 모드 중에서 브릿지 부착 전후의 nodal line 패턴이 같은 것이라고 보여지는 것은 네 개뿐이었다. 그것

은 브릿지 부착 전의 1, 2, 4, 6번 모드로, 이는 브릿지 부착 후의 1, 2, 3, 4번 모드와 각각 대응된다. 그림 2, 3, 4, 5는 브릿지 부착 전의 1, 2, 4, 6번 모드이며, 그림 6, 7, 8, 9는 브릿지 부착 후의 1, 2, 3, 4번 모드이다. 브릿지의 영향으로 nodal line의 모양이 다소 바뀌기는 했지만 대응되는 모드임을 확인할 수 있다.

(그림 1의 예시처럼 그림 2에서 9까지 선명하지 않은 nodal line을 흑색 선으로 강조하였다.)

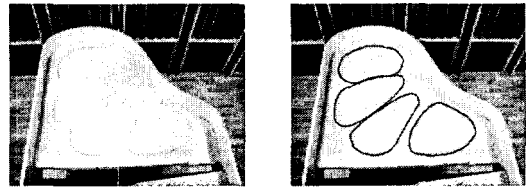


그림 1. nodal line 강조 예시.

이 대응되는 모드들의 주파수 차이는 표 2로 정리했다.

브릿지 부착 전		브릿지 부착 후	
mode no.	주파수(Hz)	mode no.	주파수(Hz)
1	55.0	1	57.0
2	89.0	2	106.9
4	137.8	3	121.5
6	171.6	4	178.2

표 2. 대응되는 저차 모드들의 주파수 비교.

Nodal line의 모양이 단순하지 않았고 비교적 공진의 진폭도 약했던 브릿지 부착 전의 3, 5번 모드는 브릿지 부착 후에는 관찰되지 않았다.

이 외 브릿지 부착 전의 7번부터 13번까지의 고차 모드들은 nodal line의 생김새나 각 모드가 가지는 주파수가 크게 변화한 것으로 관찰되었다. 약 1kHz까지 주파수를 올려보았는데 브릿지 부착 전에는 308.1Hz 이후에 공진을 발견하기 힘들었지만, 브릿지를 부착한 후에는 672.8Hz에서 마지막 공진을 발견할 수 있었다. 이론상으로 이후의 주파수에서도 공진 발생이 가능하나 실험의 한계 상 확인할 수 없었다. 브릿지를 부착한 후에는 각 공진 주파수들 사이의 간격도 다소 커졌으며, 고차 모드들에서 나타나는 nodal line의 모양도 보다 불규칙적이고 복잡해졌다. Nodal line이 형성한 폐곡선의 수도 많아져, 최대 12개의 폐곡선이 보이는 모드가 관찰되기도 하였다. 180Hz 이상의 주파수를 가지는 고차 모드들에서는 주파수와 nodal line의 패턴, 둘 중 어떤 요소로도 서로 대응되는 모드를 발견할 수가 없었다.

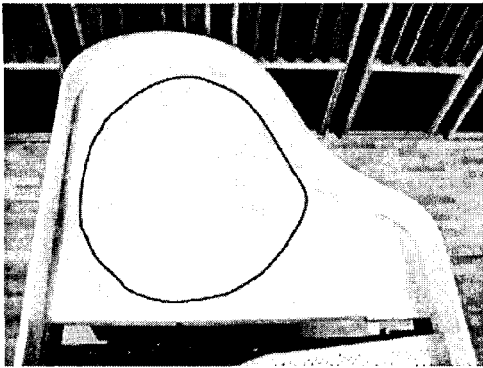


그림 2. 브릿지 부착 전 1번 모드.

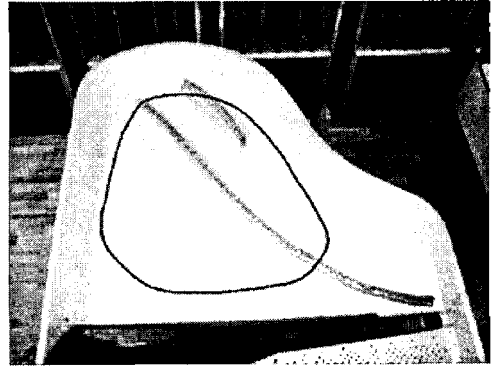


그림 6. 브릿지 부착 후 1번 모드.

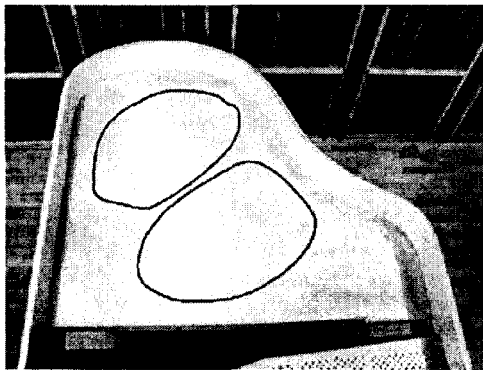


그림 3. 브릿지 부착 전 2번 모드.

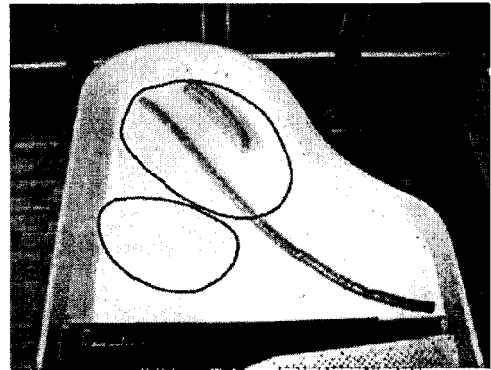


그림 7. 브릿지 부착 후 2번 모드.

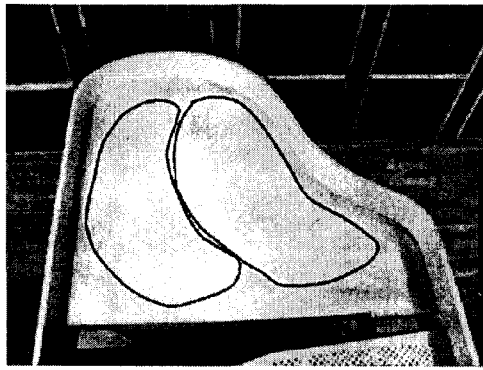


그림 4. 브릿지 부착 전 4번 모드.

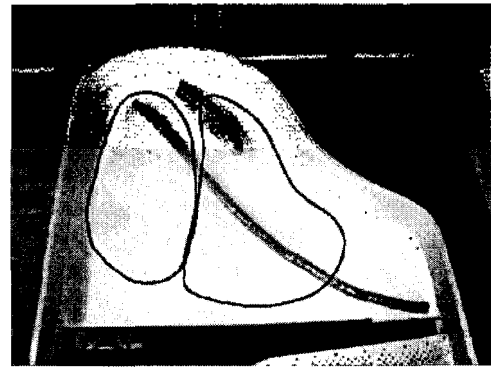


그림 8. 브릿지 부착 후 3번 모드.

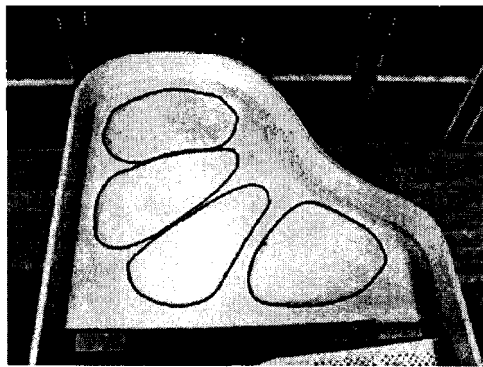


그림 5. 브릿지 부착 전 6번 모드.

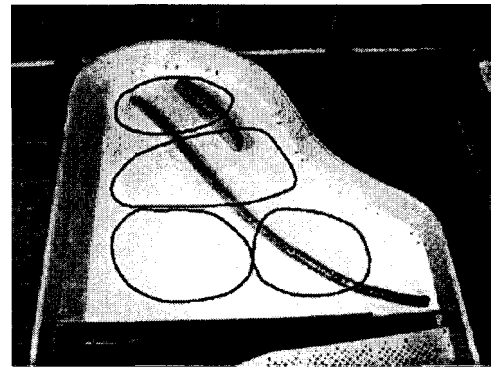


그림 9. 브릿지 부착 후 4번 모드.

5. 결론

향판에 브릿지가 부착됨으로 인해 모드들은 주파수가 이동됨과 함께 nodal line 패턴이 바뀐다. 약 180Hz까지의 저주파 대역에서 단순한 형태로 나타나는 네 개의 모드들은 브릿지가 장착된 후에도 비슷한 주파수에서 관찰되었으며 그 모양도 크게 변하지 않았다. 브릿지 부착전에 180Hz 이하에서 관찰되었지만 공진이 그리 크게 일어나지 않았고 nodal line의 모양도 단순하지 않았던 두 개의 모드들은 브릿지가 부착되며 사라진 것으로 생각된다.

그러나 브릿지 부착 전에 180Hz 이상에서 관찰되었던 고차 모드들은 브릿지가 장착되면서 큰 폭으로 주파수 이동이 일어나며 동시에 nodal line의 패턴도 심하게 바뀌어, 대응되는 모드를 알아보기가 힘들었다.

N. Giordano의 연구에 따르면, 저주파에서는 모드의 개수가 많지 않고 그 모양도 단순하므로 클라드니 패턴 등을 이용한 분석이 유효하나 고주파의 모드 특성은 그 nodal line이 너무 복잡하여 기계적 임피던스 $|Z|$ 등 추가의 변수들을 통해 특성을 파악하는 것이 보다 효율적이라고 한다.

이에 추가적으로, 본 연구의 결론에 따르면 브릿지가 부착되지 않은 향판이 독립적으로 가지는 고주파 특성은 브릿지가 부착되고 프레임과 현이 더해지는 등의 추가 조립 과정을 통해 매우 크게 변화한다. 따라서 독립적인 향판의 고주파 특성을 곧 피아노 전체의 주파수 전달 특성으로 곧바로 연결하는 것은 많은 오차를 포함하게 될 것이다. 반면에 180Hz이하의 저차 모드들은 피아노가 완성된 후에도 크게 변하지 않으므로 음색의 특성과 바로 연결하여 생각하는 것이 가능하다.

6. 참고 문헌

- [1] N. Giordano, "Sound production by a vibrating piano soundboard: Experiment", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 100, no. 2, pp. 695-708, August 1996.
- [2] N. Giordano and A. J. Korte, "Simple model of a piano soundboard", *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 102, no. 2, pp. 1159-1168, August 1997.
- [3] N. Giordano, "Mechanical impedance of a piano soundboard", *J. Acoust. Soc. Am.* vol 103, no. 4, pp. 2128-2133, April 1998.
- [4] Hideo Suzuki, "Vibration and sound radiation of a piano soundboard", *J. Acoust. Soc. Am.* vol 80, no. 6, pp. 1573-1582 December 1986.

[5] Harold A. Conklin, "Design and tone in the mechanoacoustic piano. Part II. Piano structure", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 104, no. 3, pp. 1648-1653, September 1998.

[6] I. Nakamura, "The vibrational character of the piano soundboard", *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 102, no. 2, pp. 1159-1168, August 1997.

[7] K. Wogram, "Acoustical research on pianos. Part I: Vibrational characteristics of the soundboard", *Das Musikinstrument*.