

바이올린과 가야금의 모드해석

임종민*, 서재준*, 박주배*, 남경욱*, 김시문*, 김양한*

*한국과학기술원 기계공학과, 소음 및 진동제어 연구센터

Modal Analysis of Violin and Gayageum

Jong-Min Im*, Jae-Joon Seo*, Joo-Bae Park*, Kyung-Uk Nam*, Sea-Moon Kim* and Yang-Hann Kim*

*Center for Noise and Vibration Control, Department of Mechanical Engineering, KAIST

요약

가야금과 바이올린의 소리 발생 특성을 이해하기 위하여 모드해석을 수행하였다. 바이올린과 가야금은 크게 현과 몸체 그리고 이 둘을 연결하는 부분으로 구성 되어 있다. 소리는 이들의 유기적인 관계로부터 발생 된다. 실험을 통해 살펴본 결과, 저주파 대역에서 바이올린의 진동은 크게 앞, 뒷판의 진동, 몸체와 목 부분 사이의 비틀림 진동, 바이올린 전체가 하나의 보처럼 진동하는 현상으로 나누어 볼 수 있었다. 가야금 상판의 진동 형상은 약간 휘어진 형태를 가지며, 전체적으로 는 평판의 진동과 같은 모습을 보였다.

1.머릿말

동서양을 대표하는 현악기로서 가야금과 바이올린을 들 수 있을 것이다. 바이올린은 네 개의 줄을 가진 현악기로서 앞판과 뒷판으로 이루어진 몸통부분, 일종의 보로 생각할 수 있는 목 부분 그리고 금속 현으로 이루어져 있다. 바이올린의 연주시 아름다운 소리를 내기 위해서는 이러한 각각의 부속기관들이 유기적으로 조화를 이루어야 한다. 가야금은 오동나무로 구성된 가야금 상판 위에 작은 나무 가동(안축)이 12개의 줄을 받치고 있는 형태로 되어 있다. 본 논문에서는 바이올린과 가야금의 음향 방사 특성을 알아보기 위한 기초작업으로 모드 해석을 수행하고 주요 고유주파수에 대한 진동특성을 살펴 본다.

2. 바이올린

2.1. 실험 장치 및 측정 방법

바이올린의 모드 해석을 수행하기 위해 바이올린에 가속도계를 설치하고 가진 망치(impact hammer)를 이용하여 가진시키며 측정을 수행하였다. 그림 1,2는 실험장치와 바이올린의 치수를 나타낸다. 먼저 바이올린을 줄을 이용하여 구조물에 매달아 가진 방향에 대해 자유 운동을 하게 함으로써 자유 경계 조건을 부여하였다. 바이올린은 현에 작용하는 줄의 장력에 따라 전체 계의 동적 특성의 변화가 있게 된다. 따라서 기준이 될 수 있는 장력의 설정이 필요하였다. 이를 위해

서 일반적으로 바이올린 연주시 현을 조율할 때 각 현이 발생시키는 소리 주파수(참고문헌[1])에 해당하는 장력을 추가하였다. 이것은 표 1.에 나타내었다. 이때 발생하는 소리의 주파수는 마이크로폰(B&K type 4134)을 사용하여 확인 하였다. 측정의 예비 과정으로 측정 주파수 설정과 가속도계 설정 위치를 결정하였다. 사용하는 가진 망치가 바이올린을 가진할 수 있는 주파수의 범위를 파악하기 위해 바이올린을 가진시키고 이때 주파수에 따른 가진력을 살펴보았다. 이를 근거로 하여 측정 범위를 0Hz ~ 625Hz로 설정하였다. 또한 가속도계는 측정 주파수 범위 안에서 나타나는 모든 모드를 측정할 수 있는 위치에 설치하여야 한다. 이를 위해 바이올린의 임의의 점에 가속도계를 설치한 후 여러 지점에서 가진 한 뒤 응답을 살펴봄으로써 변위가 영이 되는 지점에 설치하여 특정 모드가 나타나지 않는 지점은 피했다. 측정의 단계로서 바이올린에서 가진 지점의 위치와 간격을 설정하기 위해 측정 범위에서의 모드의 수를 예비 실험을 통해 파악하고 이를 통해 측정 간격을 2cm로 설정하였다. 또 측정 지점의 파악을 위해 바이올린의 앞판과 뒷판에 2cm x 2cm의 격자를 구성하였다. 측정은 앞판의 경우 106 지점, 뒷판의 경우는 154 지점에 대해 행해 졌다. 각 측정 점에서의 주파수 응답 함수는 5번 평균된 신호를 사용하였으며 신호분석기(HP3563A)를 이용하였다. 실험 데이터의 처리로서 앞판 과 뒷판에서의 측정된 여러 지점의 주파수 응답의 크기와 위상을 근거로 하여 고유 주파수를 결정하였으며, 각 측정 지점에서의 결정된 주파수에 해당하는 데이터를 추출해냈다.

표 1. 바이올린 현의 조율 주파수

G 현	196 Hz
D 현	294Hz
A 현	440Hz
E 현	660Hz

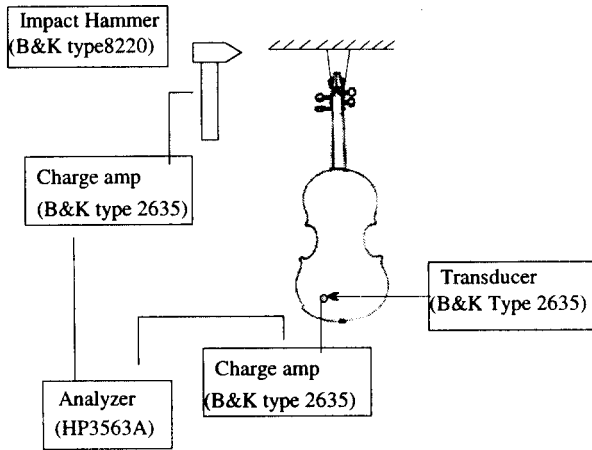


그림 1. 바이올린의 모드 해석을 위한 실험 장치

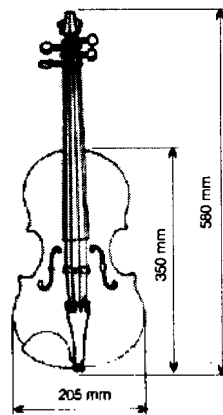


그림 2. 바이올린의 형상 및 치수

2.2. 실험결과

바이올린의 진동현상은 주파수에 따라서 크게 세가지 진동의 조합으로 나타났다. 첫번째는 앞판과 뒷판의 움직임을 나타내는 판 진동(Plate Vibration)이고, 두번째는 바이올린 몸체부분과 목부분사이의 비틀림진동(Torsional Vibration), 그리고 세번째는 바이올린 전체를 하나의 보(Beam)로 생각할 때 나타날 수 있는 보진동(Beam Vibration)이다.

1) 첫번째 모드(104.6Hz)

위의 세가지 진동이 모두 조합되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 비틀림 진동과 보 진동의 첫번째 모드가 바이올린 전체에 작용하면서 앞판의 중앙 양쪽 홈부근(F-Holes,[1])에서 다소 작은 크기의 판진동을 하고 있다. 이 중에서도 바이올린 몸체와 목부분 사이의 비틀림

진동이 지배적으로 나타나고 있으며, 첫번째 모드는 나머지 다른 모드에 비해 작은 크기의 에너지를 가지고 있다.

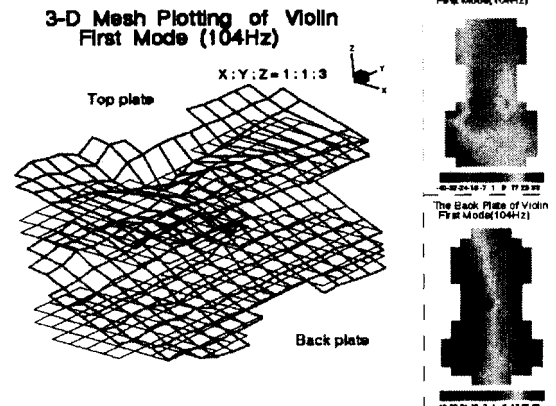


그림 3. 바이올린의 첫번째 모드형상

2) 두번째 모드(118Hz)

첫번째 모드와 유사한 진동을 하고 있다. 보 진동의 첫번째 모드가 바이올린 전체에 지배적으로 작용하고 있고 상대적으로 작은 에너지의 비틀림진동이 작용하고 있다. 첫번째 모드에 비해 앞판의 중앙 양쪽 부분 중 반대쪽이 움직이는 것을 볼 수 있다.

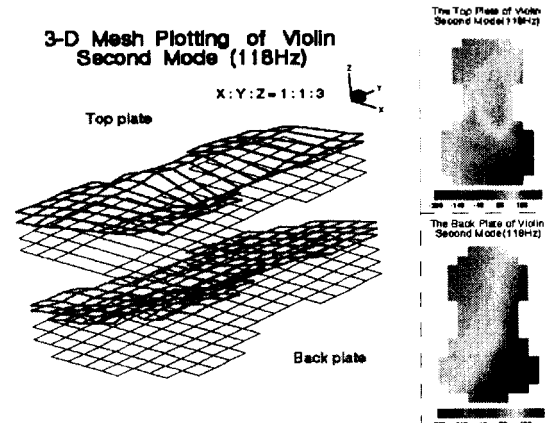


그림 4. 바이올린의 두번째 모드 형상

3) 세번째 모드(151Hz)

첫번째, 두번째 모드에사와는 달리 비틀림 진동은 거의 나타나지 않고 보 진동의 두번째 모드가 바이올린 전체에 지배적이다. 앞판에 비해 뒷판은 매우 움직임이 적고 앞판의 중앙 부분에서 조금 움직이고 있다.

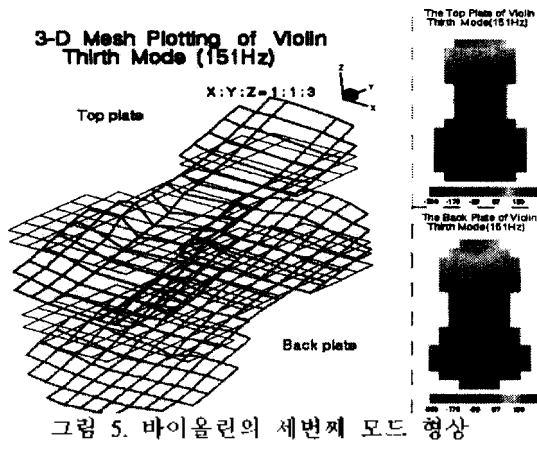


그림 5. 바이올린의 세번째 모드 형상

4) 네번째 모드(229Hz)

세번째 모드와 거의 유사한 진동을 하고 있다. 보 진동의 두번째 모드에서의 절선(nodal line)이 바이올린의 복부분에서 굽힘강성이 좀 더 큰 몸통쪽으로 옮겨져서 진동을 하고 있다.

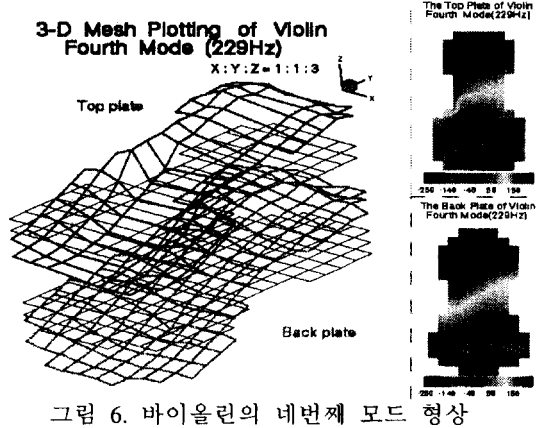


그림 6. 바이올린의 네번째 모드 형상

5) 다섯번째 모드(413Hz)

보 진동은 거의 나타나지 않고 앞판과 뒷판의 판진동이 지배적이다. 앞판의 중앙 양쪽 홈 부근에서 크게 진동하고 있다. 중앙 양쪽 부분은 서로 반대 위상을 가지고 진동하고 있고 앞판과 뒷판은 서로 같은 위상으로 진동하고 있다.

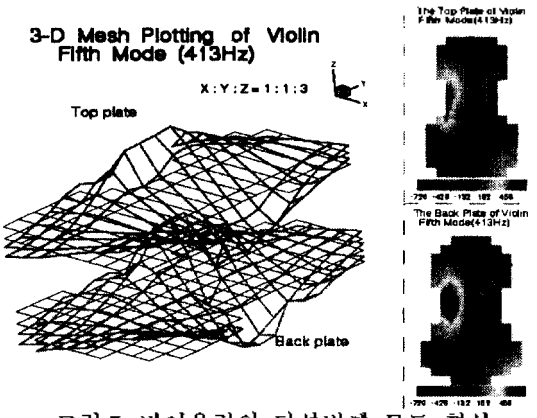


그림 7. 바이올린의 다섯번째 모드 형상

6) 여섯번째 모드(455Hz)

다섯번째 모드와 거의 유사한 진동을 하고 있다. 그러나 큰 차이점은 중앙 양쪽 홈 근처에서의 진동이 서로 같은 위상을 가지고 진동을 하고 있고 그 조금 아래 쪽에서의 진동도 나타나고 있다.

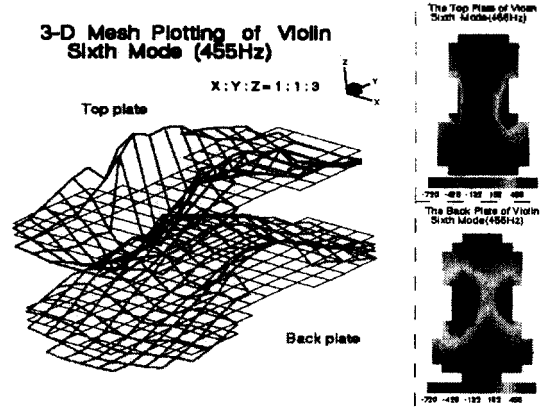


그림 8. 바이올린의 여섯번째 모드 형상

3. 가야금

3.1. 실험 장치 및 방법

가야금은 오동나무로 구성된 가야금 상판 위에 작은 나무 기둥(안축)이 12 개의 줄을 받치고 있는 형태로 되어 있다. 우리의 궁극적인 목적은 이들이 서로 어떻게 영향을 미치며 가야금의 독특한 소리를 내는가 하는 것이지만, 이에 앞서 이 논문에서는 소리를 증폭시키는 역할을 한다고 기대되는 상판에 대해 모드 해석을 수행하였다. 그림 9은 가야금 상판의 치수와 실험 장치도를 보여준다. 상판의 모양과 같이 y 방향으로 약간 휘어진 모양이다. 경계 조건은 상판의 한쪽 끝을 끈으로 매달아 자유 경계 조건이 되도록 하였다. 가속도계는 상판의 한쪽 끝에 고정시켜 놓고, 가진 망치(impact hammer)를 이용해 가진 하였다.

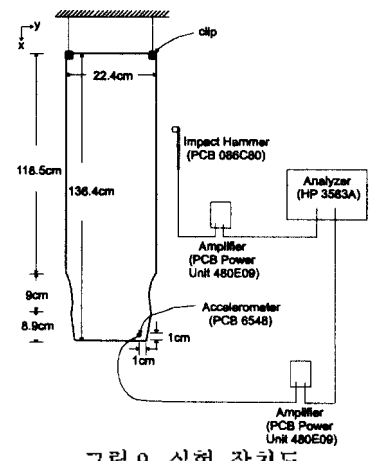


그림 9. 실험 장치도

그리고, 상반성의 원리에 의해 가속도계의 위치에서 가진 하였을 때, 상판 각 위치에서 가속도의 주파수 응답 함수를 구하였다. 측정점은 x 방향으로 4cm 씩 34 점, y 방향으로 2cm 씩 11 점으로 해서 총 374 점에서 주파수 응답 함수를 구하였다. 샘플링 주파수는 5.128kHz로 하였고, 주파수 간격은 2.5Hz이다.

3.2. 실험 결과

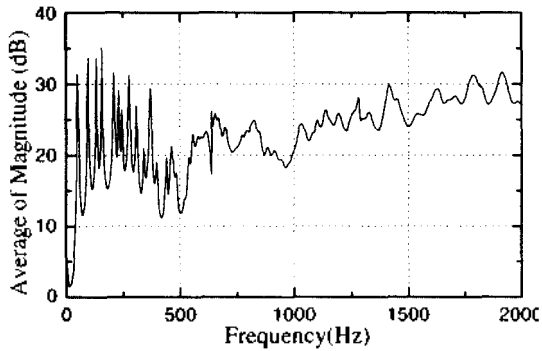


그림 10. 주파수 응답 함수

그림 10는 각 점에서 주파수 응답의 크기의 제곱을 평균한 결과이다. 이 그림은 0~2000Hz까지의 주파수 특성을 보여 주는데 0~500Hz까지는 고유 주파수 성분들이 분명하게 나타나고 있어, 가야금 상판은 저주파수 영역에서 특정 주파수 성분만을 증폭시킨다고 할 수 있다. 500 Hz 이상에서는 감쇠와 많은 모드들의 중첩에 의해 고유 주파수 성분들이 뚜렷하게 관측되지 않는다. 하지만 역시 그 특성이 주파수에 따라 고르게 나타나는 것은 아니다. 가야금 상판이 주파수 영역에서 고은 특성을 보이지 않으므로 소리의 증폭기로서 역할을 수행하기에는 적합하다고 할 수 없다.

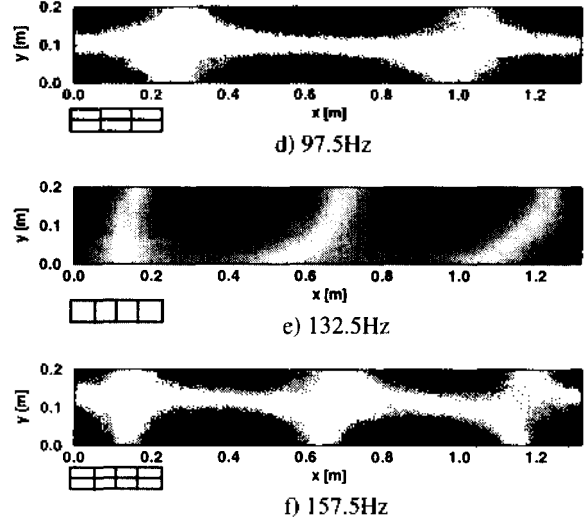
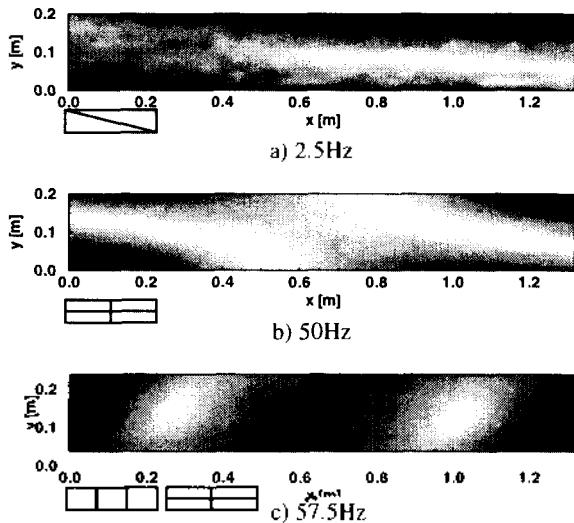


그림 11. 각 주파수별 모드 형상

그림 11은 그림 10의 처음 6개의 고유 주파수에 대해서 각 점에서의 크기를 보여준다. 이 157.5Hz까지 모드 형상들은 대체로 평판의 진동에서 볼 수 있는 모드들을 보여주고 있다. 하지만 그 이후로 가면 점점 더 복잡한 형상을 띠게 된다. 그림 11(c)의 57.5Hz 성분은 영상화 해서 볼 경우 두 개의 모드가 중첩되어 나타남을 볼 수 있다. 이는 두 개의 주파수 50Hz와 57.5Hz가 서로 근접해 있어 2.5Hz의 주파수 간격 내에서 두 모드의 영향이 동시에 나타나기 때문으로 보인다.

4. 결론

바이올린의 음향 방사 특성을 알아보기 위한 기초작업으로 모드 해석을 시도하였다. 바이올린의 진동시 각 고유 주파수별 모드 형상을 애니메이션으로 나타내었고 거기에 따른 해석을 시도하였다. 바이올린은 판 진동, 비틀림 진동, 보 진동 등의 세가지 진동 형태의 조합으로 나타났고, 앞판과 뒷판은 위의 여섯개의 모드에서는 모두 같은 위상을 가지고 움직이는 것을 볼 수 있었다. 특히 판 진동의 경우 앞판의 중앙양쪽 홈 부근이 크게 움직이고 있었다. 가야금 상판에 대한 모드 해석 결과, 재질은 비록 나무이지만 저주파수 영역에서는 평판에서 볼 수 있는 진동의 특성을 보여준다고 할 수 있다. 이로 말미암아 가야금 상판은 고유 주파수 성분들만을 선별적으로 증폭시킴을 볼 수 있다. 바이올린의 음향 방사 특성을 알기 위해서는 이러한 진동이 외부로 어떻게 방사되고, 또 바이올린의 각 부속 기관들이 이러한 음향 특성에 어떤 식으로 관계하는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

[1] Thmas D. Rossing, The Science of Sound, chap. 10, Addison Wesley, 1990