

## 유한요소 해석을 통한 전기 어쿠스틱 기타의 음질 향상

이재민\*(충남대학교 대학원), 박영우(충남대학교), 임경빈(충남대학교 대학원)

### Improvement of Sound Quality for an Electro-Acoustic Guitar Using Finite Element Analysis

J. M. Lee, Y. W. Park, K. B. Im(Mechatronics Eng. CNU)

#### ABSTRACT

A guitar pickup transforms the vibration of strings to the electric signals, and delivers them to an amplifier. A piezo pickup has interference problem between strings. The paper aims to improve sound quality for an electro-acoustic guitar through the finite element analysis. Firstly the conventional pickup is modeled and analyzed with a commercial program called ANSYS. It is obvious that there exists interference between the strings. The structural modification of the pickup is performed, based on the beam theory. The modified structures are suggested, modeled and analyzed. Then the result are compared with those in the conventional pickup. It can be concluded that the interferences with the modified structures are much less than those with the conventional structure.

**Key Words** : Electro-Acoustic Guitar(전기 어쿠스틱 기타), Pickup(픽업), Piezo(압전 재료)

#### 1. 서론

기타 픽업은 현의 진동을 전류의 흐름으로 바꿔서 이 신호를 앰프에 전달해 주는 역할을 한다. 기타 픽업은 일렉트릭 기타에 많이 쓰이는 마그네틱(Magnetic) 픽업과 어쿠스틱 기타에 주로 사용되는 피에조(Piezo) 픽업 등이 있는데 그 중 피에조 픽업은 플라스틱 등의 재질로 된 브릿지를 들어내고 그 밑에 6개의 소자를 고정시켜 줄과 바디의 진동을 직접 접촉식으로 감지하는 방법으로 진동을 얻고, 이를 통해 전압을 발생한다. 이렇듯 피에조 픽업은 현과 센서의 물리적인 접촉을 이용하기 때문에 서로 간섭을 줄 수 있다는 단점을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 기존 피에조 픽업의 구조를 해석하고, 그를 통하여 피에조 픽업의 단점인 현간의 간섭문제를 해결하여, 좀 더 실제 음에 가까운 소리 신호를 만들어내는 것이다. 이를 위해 기존 피에조 픽업의 문제점에 대한 고찰을 시작으로 개선 방향을 모색하여, 새로운 구조 설계 후 시뮬레이션 결과를 토대로 음질 향상 기대효과의 결론을 도출한다.

기존 구조에 대한 해석은 기존 픽업의 3D모델링

후 단순화 및 메쉬 생성 등의 유한요소 해석을 이용하여 간섭현상을 해석한다.

새로운 구조의 설계는 빔의 굽힘에 관한 수식진개를 통한 이론적 접근을 시작으로, 픽업의 성능에 영향을 줄 수 있는 요소에 변화를 준 구조들을 3D로 모델링을 한다. 새로운 구조들은 유한요소 해석 소프트웨어를 이용하여 기존 구조에서와 동일한 힘에 대한 간섭 체크와 스트레스 전달량 등의 해석결과 분석을 통해 새로운 구조들 사이에서 최적의 구조를 찾아낸다.

큰 스트레스를 한 곳으로 집중시키면서 전달시킬 수 있는 구조를 찾아냄으로써 픽업의 노이즈 특성에는 변화가 없다고 가정할 때 음의 크기는 픽업의 전압 출력 크기와 관련이 있으므로 더 큰 출력을 낼 수 있는 구조를 통해서 음질 개선 효과를 기대할 수 있다.

#### 2. 기존 구조에 대한 해석

##### 2.1 픽업에 가해진 힘의 계산

Fig. 1에 나타난 바와 같이 압전 재료에 힘이 가해졌을 때, 재료가  $\Delta T$ 만큼 압축됨에 따라 내부의 커패시턴스가 변하여 전압이 발생하게 된다.

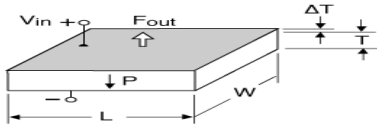


Fig. 1 shape of piezoelectric material

이와 같은 특성을 이용하면 발생한 전압에 따라 가해진 힘을 구할 수 있는데, 전압의 변화량을  $\Delta V$  라 하고, 전압 상수를  $g_{33}$ , 재료의 탄성 계수를  $E$  라 하면 그 결과는 식 (1)과 같다.

$$F = L \cdot W \cdot \sqrt{\frac{E \cdot \Delta V}{T \cdot g_{33}}} \quad (1)$$

압전 재료에 가해지는 힘을 구하기 위해

가로, 세로, 높이가 각각 5.8cm, 1cm, 1.55cm이고,  $g_{33}$ 은  $29.5 \times 10^{-3} V \cdot m/N$ ,  $E$ 는 53.2 GPa인 압전 재료를 이용하여 현을 쳤을 때 발생한 전압을 측정 한 결과, 약 0.3V 증가한 후 시간이 흐르면 정상상태로 돌아갔다. 전압 변화량과 식 (1)을 이용하여 구한 힘은 5.91MPa였다.

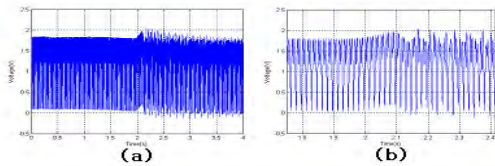


Fig. 2 (a) Voltage Output by Loading Force  
(b) Expanded Graph

## 2.2 유한 요소 해석

하나의 현을 쳤을 때 그 힘이 다른 현에 전달이 되면 원하는 음을 얻을 수 없다. 하지만 피에조 위에 존재하는 매질의 영향으로 간섭을 완전히 피할 수는 없다. 픽업에 가해지는 힘을 이용하여 기존 픽업 구조에서의 간섭현상에 대해 알아보았다. 해석을 위하여 기존 픽업을 Fig. 3과 같이 단순한 형상으로 바꾸었다.

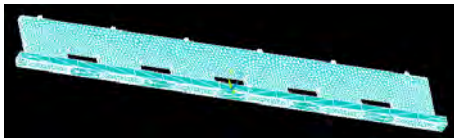


Fig. 3 Simplification and Mesh Generation

x축을 픽업의 좌우방향, y축을 픽업의 수직방향(축방향), z축을 픽업의 앞뒤방향으로 정의하고, 상용 프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석하였다<sup>2,3</sup>. 또한, 각 현은 대칭 구조이므로 4, 5, 6번현에 대해서만 해석하였다.

4번현에 5MPa의 힘을 가했을 때 x축에 대한 스트레스 분포는 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 4번 현 아래의 피에조에 스트레스가 많이 분포되어 있고 3번과 5번현 부분의 피에조까지 스트레스가 분포한 결과를 나타냈다. z축 방향으로의 스트레스도 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 x축과 비슷한 간섭 현상을 보였다.

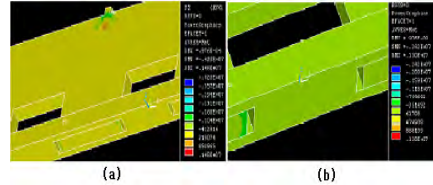


Fig. 4 (a) Stress Analysis to x-axis  
(b) Stress Analysis to z-axis

y축에 대한 스트레스 분포는 4번현에 가해진 힘이 3번과 5번현의 피에조에 직접적인 스트레스를 유발하지는 않았지만 Fig. 5과 같이 각 피에조 위의 매질에 스트레스를 일으키고 있다. 정적인 힘이 아닌 동적인 힘이 주어졌을 경우에는 힘이 전달될 가능성을 내재하고 있다.



Fig. 5 Stress Analysis to y-axis

5번현과 6번현에 힘을 주었을 때 해석 결과는 4번현에 힘을 주었을 때와 유사한 형태의 간섭현상을 보였으며 스트레스의 크기에서만 약간씩 차이를 나타냈다.

다음의 Table 1에 스트레스 해석의 결과를 나타내었다.

Table 1 Stress Analysis

| X axis Stress | Y axis Stress | Z axis Stress |
|---------------|---------------|---------------|
| 0.158MPa      | 1.34MPa       | 0.410MPa      |

다음으로서는 힘의 크기에 따른 각 축 방향으로의 스트레스를 알아보았다. 4번현에 각각 0.5MPa, 1MPa, 5MPa, 10MPa의 힘을 가하고 스트레스를 해석한 결과 Fig. 6에 나타난 것과 같이 스트레스와 힘은 선형적 관계를 나타내고, 축방향인 y축의 스트레스가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

해석 결과 기존의 구조는 간섭 현상이 일어날 가능성을 내재하고 있음을 확인할 수 있으며, 이러한 구조 해석 결과는 간섭현상 최소화 및 주어진 힘에 대해 피에조에 가해지는 스트레스의 최대화를

위한 새로운 구조 설계를 위한 기준이 된다.

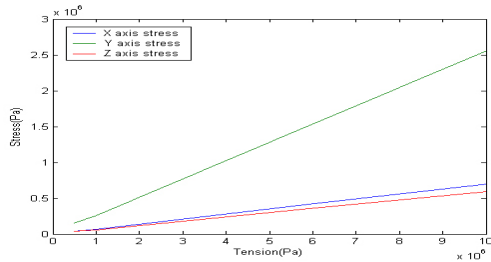


Fig. 6 Relation of Force and x,y,z-axial Stress

### 3. 새로운 구조의 적용과 해석 결과

#### 3.1 형상 변화에 따른 압전 재료의 스트레스 분포

##### 3.1.1 구조 변형의 이론적 접근

형상 및 재질이 같은 압전소자에 큰 스트레스를 가하기 위해서는 힘이 효율적으로 전달되어야 하는데, 그러기 위해서는 압전소자 부분에서의 매질이 큰 변형을 일으켜야 하고, 변형은 재료의 탄성 변형과 관계가 있다.

Fig. 7과 같이 어떤 힘이 가해질 때, 빔은 식 (2)와 같은 최대 굽힘을 갖는다<sup>1</sup>.

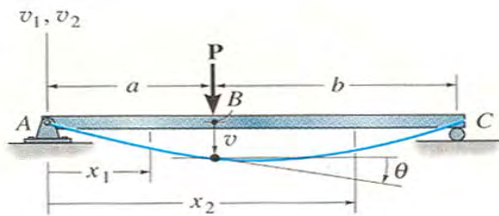


Fig. 7 Example of Elastic Deformation

$$v_{\max} = \frac{2C_1}{3EI} \sqrt{\frac{-2C_1(a+b)}{bP}} \quad (2)$$

최대 굽힘에 영향을 주는 설계 형상변수는 면적 관성 모멘트 I이다. I는  $\frac{bd^3}{12}$ 으로 픽업 매질에 적용하면 b, d는 각각 매질의 두께, 높이가 된다. b와 d중에 I값에 더 큰 영향을 미치는 d, 즉, 매질의 높이를 줄이면 같은 힘에 대해 큰 변위를 발생시킬 수 있음을 알 수 있다.

##### 3.1.2 새로운 구조의 스트레스 해석

###### 3.1.2.1 새로운 구조 설계

이 절에서는 매질의 유연성을 높이기 위해 Fig. 8과 같이 삼각형과 사각형의 새로운 구조를 디자인

하여 Fig. 9와 같이 스트레스를 해석하였다.

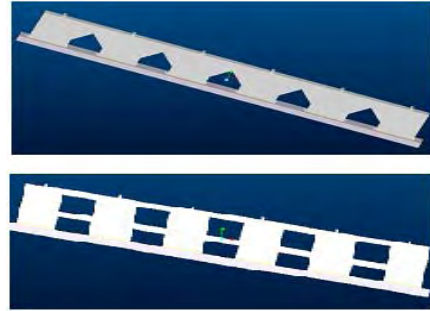


Fig. 8 Developed Models

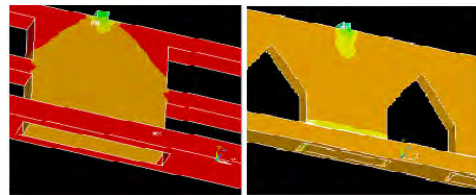


Fig. 9 Stress Analysis of Developed Models

단순히 구조의 설계를 하는 것뿐만 아니라 3.1.1절에서 살펴본 것과 같이 구조의 높이를 조정함으로써 변위를 더 키울 수 있을 것으로 예측하여, 각각의 구조에서 높이를 조정하여 그에 따른 스트레스 차이를 통해 최적 설계 조건을 알아보았다. 먼저 사각형 구조의 경우에는 Fig. 10에 나타난 H를 변화시켜 스트레스를 해석하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 그 결과, 사각형 구조에서는 H가 3mm일 때 각 축 방향으로 스트레스가 가장 크게 나타났고, 따라서 본 구조에서는 H가 3mm인 경우를 최적 설계 조건으로 볼 수 있다.



Fig. 10 Model of Square Structure

Table 2 Axial Stress Caused by Changed H-value of Square Structure

| H, mm | x axis   | y axis  | z axis   |
|-------|----------|---------|----------|
| 2     | 0.659MPa | 2.70MPa | 0.476MPa |
| 3     | 0.901MPa | 3.11MPa | 0.501MPa |
| 4     | 0.875MPa | 2.84MPa | 0.563MPa |

이와 같은 방법으로 삼각형 구조에 대해서도 스트레스 해석을 수행한 결과는 Table 3과 같다.

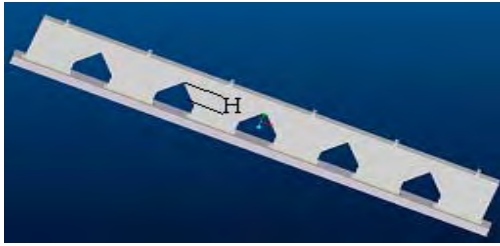


Fig. 11 Model of Triangle Structure

Table 3 Axial Stress Caused by Changed H-value of

| Triangle Structure |          |         |          |
|--------------------|----------|---------|----------|
| H, mm              | x axis   | y axis  | z axis   |
| 2                  | 0.328MPa | 1.60MPa | 0.471MPa |
| 3                  | 0.371MPa | 2.34MPa | 0.375MPa |
| 4                  | 0.392MPa | 2.82MPa | 0.424MPa |

그 결과 H가 4mm일 때 가장 큰 스트레스를 나타냈다. 따라서 삼각형 구조에서는 H가 4mm일 때를 최적 설계 조건으로 볼 수 있다.

각 축 방향 스트레스에서 사각형 구조는 특히 스트레스 분포가 다른 구조에 비해 크게 나타났다. 따라서 이와 같은 구조들을 피에조 픽업에 적용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것임을 예측할 수 있다.

### 3.2 구조의 안정성 및 간섭 현상

기존 구조의 변경 및 새로운 구조가 압전 소자에 큰 스트레스를 가할 수 있더라도 구조적 안정성을 갖지 못하거나 간섭 현상을 갖고 있다면 문제가 된다. 따라서 안정성 및 간섭 현상에 대한 해석 또한 필요하다. 매질은 기타 줄에 의한 힘에 의해 파괴되지 않는 스트레스 범위 내에서 구조를 설계하여야 한다.

매질의 전단 응력은 1.95MPa이다. 안전 계수를 10이라 하였을 때 새로운 구조의 매질에 스트레스가 19.5MPa 이상 집중되지 않아야 한다.

사각형 구조는 스트레스가 집중되는 부분이 발생하는데 이때 발생한 스트레스는 1MPa이다. 이 값은 안전 계수를 고려한 값에 비해 작기 때문에 파손을 일으키지 않는다. 삼각형 구조는 기존 구조와 같이 응력이 집중되는 부분이 없었다. 따라서 두 구조 모두 스트레스 해석 결과 주어진 힘에 대한 안정성이 입증되었다. 다만 사각형 구조는 삼각형 구조와 달리 스트레스가 넓은 범위에 분포함에 따라 다른 압전 소자에 간섭현상을 일으킬 가능성은 내재하고 있다. 따라서 스트레스 분산을 위한 설계가 필요하다.

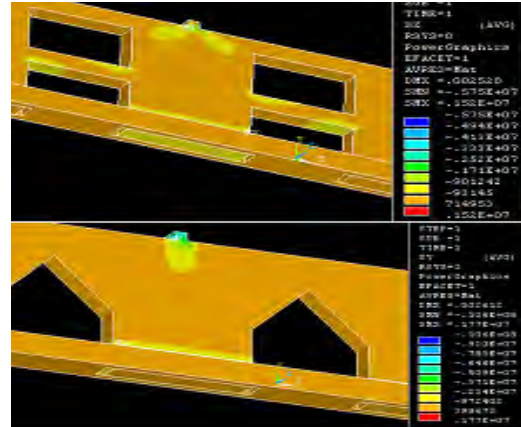


Fig. 14 Mechanical Safety of Material

## 4. 결론

본 연구는 압전소자에 스트레스를 보다 효율적으로 가하기 위하여 개선된 구조를 제시하기 위한 연구로 매질의 변형에 관한 이론적 접근을 통해 구조를 개선하였다. 매질의 변형을 증가시키기 위해 매질의 유연성을 향상시키는 구조 설계를 하고, 이에 대한 스트레스 분포 해석 및 비교를 통해 구조 개선 방향을 제시하였다.

Table 4 Stress Analysis of Developed Models

|        | X axis Stress | Y axis Stress | Z axis Stress |
|--------|---------------|---------------|---------------|
| 기존 구조  | 0.158MPa      | 1.34MPa       | 0.410MPa      |
| 삼각형 구조 | 0.371MPa      | 2.34MPa       | 0.375MPa      |
| 사각형 구조 | 0.901MPa      | 3.11MPa       | 0.501MPa      |

또한 개선된 구조의 안정성 및 간섭 현상을 해석을 통해 알아보았다. 기존의 구조보다 더 큰 스트레스를 전달하여 보다 효율적으로 음을 픽업할 수 있는 구조로 사각형과 삼각형 구조의 새로운 구조를 제시하였는데, 해석 결과 기존 구조보다 더 큰 스트레스를 전달할 수 있으면서 안정성도 갖추고 있음을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. Ferdinand P. Beer et al., "Mechanics of Materials", McGraw-Hill, 2002
2. 고재용, "ANSYS와 유한요소법", 시그마 프레스, 2001
3. 박형진, "ANSYS를 이용한 유한 요소 해석", 광문각, 2001