

새들의 유한요소 해석을 통한 전기 어쿠스틱 기타의 음질 향상

박영우[#], 임경빈^{*}, 조승기^{*}

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

Young-Woo Park[#], Kyoung-Bin Im^{*} and Seung-Ki Cho^{*}

ABSTRACT

The electro-acoustic guitar pickup converts the vibration of strings to the electric signals, and delivers them to an amplifier. The vibration of the strings is transferred to the piezoelectric material through the saddle. This paper aims to improve sound quality for electro-acoustic guitars through the finite element analysis of the saddle. Firstly, the conventional pickup is modeled and analyzed with a commercial program called ANSYS. It is obvious that there exists interference phenomenon of stress. A structural modification of the pickup is performed, based on the beam theory. The modified structure is modeled and analyzed. Finally, the fabricated structures are subjected to the measurements and compared with the conventional pickup. It can be concluded that the interference with the modified structure is much less than that with the conventional structure, and that the sound quality is improved with the modified structures.

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

1. 서론

기타 픽업은 현의 진동을 전기 신호로 바꿔 이를 앰프에 전달해 주는 역할을 하며, 전기 기타에 많이 쓰이는 마그네틱(Magnetic) 픽업과 어쿠스틱 기타에 주로 사용되는 피에조(Piezo) 픽업 등이 있다. 피에조 픽업은 플라스틱 등의 재질로 된 새들(Saddle) 밑에 6개의 압전소자를 고정시킨 구조를 가지고 있고 현이 진동함에 따라 매질의 역할을 하

는 새들을 통하여 압전소자로 힘이 전달되어 전압이 생성된다. 이 구조는 하나의 새들을 통하여 모든 현의 신호를 받아들여야 하므로 현의 진동에 의한 스트레스가 새들의 전체에 분산되어 간섭현상의 결과를 가져옴으로써 에너지 변환의 효율에 문제가 있다.

본 연구의 목적은 새들에 가해지는 스트레스에 대한 유한요소 해석을 통하여 기타 픽업의 SNR(신호 대 노이즈비)을 향상시켜, 전기 어쿠스틱 기타의

☛ 접수일: 2006년 5월 19일; 게재승인일: 2006년 12월 23일

교신저자: 충남대학교 메카트로닉스공학과

E-mail ywpark@cnu.ac.kr Tel. (042) 821-6874

* 충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단

음질을 향상시키는 것이다. 이를 위해 기존 피에조 픽업 구조로부터 개선 방향을 모색하고, 새로운 새들의 구조 설계 후 시뮬레이션 및 실험 검증을 통해 음질 향상의 결론을 도출한다.

2. 기존 새들 구조의 해석

2.1 픽업에 가해진 힘의 계산

Fig. 1은 직육면체의 형상을 가진 일반적인 압전소자의 형태를 나타낸다. 전압의 변화량을 ΔV , 전압 상수를 g_{33} , 재료의 탄성 계수를 E 라고 할 때, 픽업에 가해진 힘은 식 (1)과 같이 표현된다.

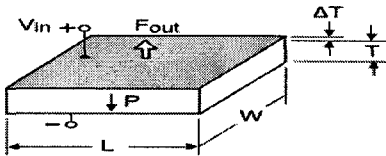


Fig. 1 Shape of Piezoelectric Material

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

g_{33} 은 $29.5 \times 10^{-3} \text{ V}\cdot\text{m}/\text{N}$, E 는 53.2 GPa , ΔV 는 0.3 V 일 때 가로, 세로, 높이가 각각 5.8 cm , 1 cm , 1.55 cm 인 압전소자에 가해진 힘은 5.91 MPa 이다.

2.2 유한 요소 해석

현의 진동은 중간에 존재하는 매질을 탄성 영역 범위 내에서 변형을 일으키면서 압전소자로 힘을 전달하게 되므로 전달 과정에서 힘의 감소가 일어난다. 해석을 위하여 Fig. 2(a)의 기존 픽업의 구조를 Fig. 2(b)와 같이 단순한 형상으로 바꾸었다.

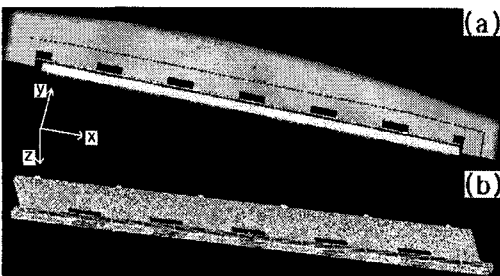


Fig. 2 (a) Conventional Model of Piezo Pickup
(b) Simplification and Mesh Generation

픽업의 좌우, 수직, 앞뒤방향을 각각 x, y, z로 정의하고, 상용 프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석하였다.¹

4번현에 5 MPa 의 힘을 가했을 때 x축에 대한 스트레스 분포는 Fig. 3(a)과 같이 4번현의 압전소자에 스트레스가 많이 분포되어 있고 3번과 5번현의 압전소자에까지 스트레스가 분포하는 간섭 현상을 보였다. z축 방향으로의 스트레스도 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 x축과 유사한 간섭 현상을 보였다.

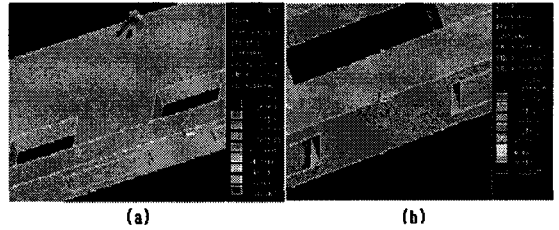


Fig. 3 (a) Stress Analysis to x-axis
(b) Stress Analysis to z-axis

압전소자가 전압을 생성하게 하는 가장 직접적인 힘이라고 볼 수 있는 y축 힘에 대한 스트레스 분포는 Fig. 4와 같다. 4번현에 가해진 힘이 3번현과 5번현의 압전소자에 직접적인 스트레스를 유발하지 않았지만, 스트레스가 4번현의 압전소자에 집중되어 전달되지 못하는 비효율적인 스트레스 전달 구조를 갖고 있다.

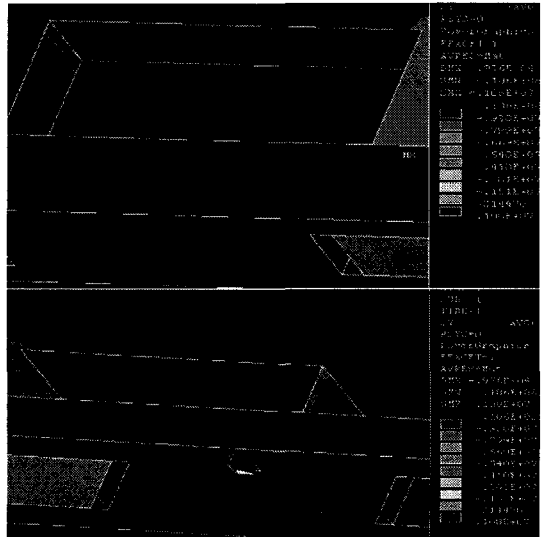


Fig. 4 Stress Analysis to y-axis

5번현과 6번현에 힘을 주었을 때도 마찬가지로 스트레스가 각 현의 압전소자로 집중되어 전달되지 못하고 새들 전체에 분산되는 결과가 나왔다.

Table 1은 4번현에 5MPa의 힘을 가했을 때 압전소자의 각 방향에 따른 스트레스 해석 결과이다.

Table 1 Stress Analysis

x axis Stress	y axis Stress	z axis Stress
0.158MPa	1.34MPa	0.410MPa

3. 새로운 구조의 적용과 해석 결과

3.1 새로운 구조의 이론적 접근

2절의 연구 결과에서 기존 새들 구조는 현에 의해 가해진 힘이 압전소자로 전달됨에 있어 비효율적인 구조를 갖고 있음을 확인하였다. 현과 압전소자의 중간에 존재하는 매질인 새들을 변형이 잘 일어날 수 있는 구조로 변경함으로써, 현에 의한 힘이 압전소자로 전달되는 과정 중에 발생하는 손실을 줄일 수 있다.

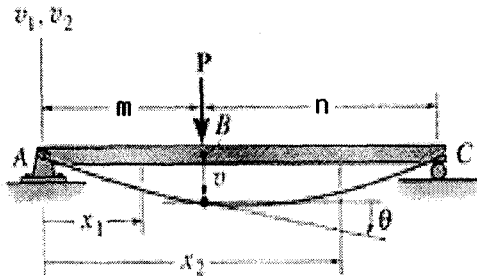


Fig. 5 Example of Elastic Deformation

Fig. 5와 같이 임의의 힘 P가 가해질 때, 빔의 최대 굽힘은 식 (2)와 같이 표현된다.²

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

(where $I = \frac{bd^3}{12}$)

여기서 C_1 은 상수이고 I 는 관성 모멘트이며 b , d 각각 매질 단면적의 두께와 높이이다.

3.2 새로운 구조의 스트레스 해석

식 (2)에 나타난 바와 같이 관성모멘트를 줄임

으로써 동일한 힘에 대해 탄성 변형량을 늘려 역학적 손실을 줄일 수 있다. 정역학적 평형상태를 고려해 볼 때, 가해진 힘은 픽업 구조 자체의 복원 탄성력과 압전소자에 가해지는 힘의 합과 같으므로, 같은 힘에 대해 탄성 변형량을 늘린 구조에서는 손실이 줄어들게 되어 압전소자로 더 큰 힘을 전달할 수 있다. 본 연구에서는 픽업의 새들 구조가 같은 힘에 대해 더 큰 변형량을 갖고, 또한 현에 의해 가해진 스트레스가 압전소자로 집중될 수 있도록 Fig. 6, 7과 같은 구조를 제안한다. 관성모멘트를 줄이기 위하여 새들에 사각형과 삼각형 형태의 빈 공간을 만들어 주고, 최적설계를 위하여 관성모멘트에 큰 영향을 미칠 수 있는 높이, H에 따른 스트레스의 변화를 살펴보았다. Fig. 8은 제안된 구조의 스트레스 해석 결과를 보여준다.

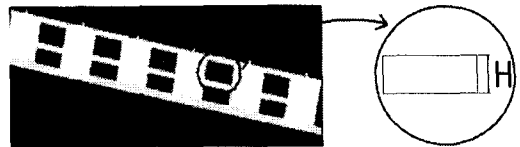


Fig. 6 Square Structure

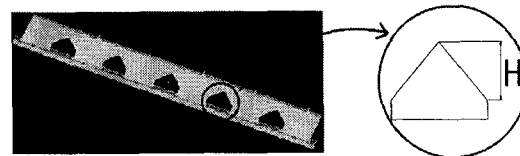


Fig. 7 Triangle Structure

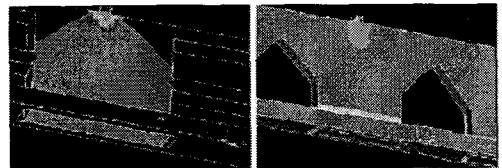


Fig. 8 Stress Analysis of Suggested Models

각 구조에 대한 스트레스 해석의 결과는 각각 Table 2, 3에 나타내었다. 사각형 구조와 삼각형 구조에서 H가 각각 3mm와 4mm일 때 각 축 방향으로 스트레스가 가장 크게 나타났다.

Table 2 Axial Stress Variation due to the Change of H-value in Square Structure

H	x axis	y axis	z axis
2mm	0.66MPa	2.70MPa	0.48MPa
3mm	0.90MPa	3.11MPa	0.50MPa
4mm	0.88MPa	2.84MPa	0.56MPa

Table 3 Axial Stress Variation due to the Change of H-value in Triangle Structure

H	x axis	y axis	z axis
2mm	0.33MPa	1.60MPa	0.47MPa
3mm	0.37MPa	2.34MPa	0.38MPa
4mm	0.39MPa	2.82MPa	0.42MPa

시뮬레이션 결과, 새로운 구조는 기존의 구조보다 힘이 압전소자로 전달되는 과정 중에 다른 압전소자로의 간섭현상이 감소되고 각 현에 해당되는 압전소자로 집중됨을 보였다. 각 구조별 결과를 정리한 표는 Table 4와 같다.

Table 4 Stress Analysis with Suggested Structures

Structure	x axis	y axis	z axis
Conventional	0.16MPa	1.34MPa	0.41MPa
Square	0.90MPa	3.11MPa	0.50MPa
Triangle	0.39MPa	2.82MPa </td <td>0.42MPa</td>	0.42MPa

4. 실험 및 분석

4.1 픽업의 제작

2, 3절의 연구 결과를 통해 Figs. 10, 11의 사각형 및 삼각형 구조를 제작하였고, 개선 사항 및 픽업별 특성을 알아보기 위해 Fig. 9의 기존 구조와 비교 실험을 하였다.

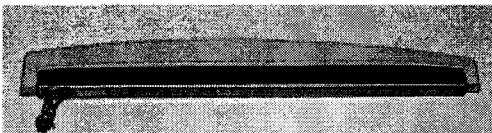


Fig. 9 Conventional Structure

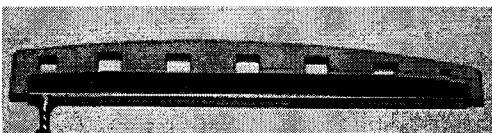


Fig. 10 Square Structure

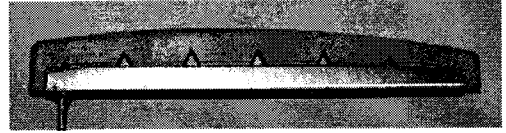


Fig. 11 Triangle Structure

4.2 실험 장비

Fig. 12의 장비는 현에 진동을 가하기 위한 모터와 신호의 입출력을 위한 DAQ-Card와 마이크로프로세서 그리고 현의 위치를 감지하기 위한 센서로 구성되어있으며, PC를 이용해 실시간 동작 제어 및 출력 측정을 수행 할 수 있다. 이 측정 장비를 이용하여 현을 진동시켜 기존 구조, 사각형 구조, 삼각형 구조 픽업의 출력신호를 받아 비교 실험을 하였다.



Fig. 12 Experimental Setup

이 측정 장비는 항상 같은 힘을 전달함으로써, 동일 조건에서의 다양한 모델에 대한 실험이 가능하며, 또한 실험 결과에 신뢰성을 부여한다.

4.3 픽업별 출력 측정

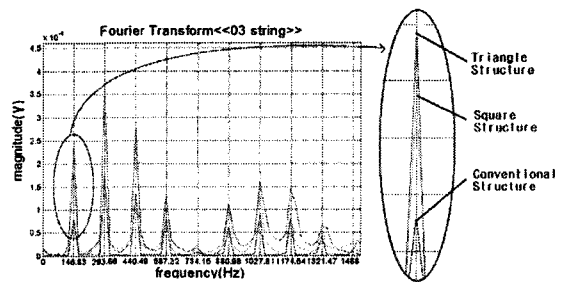


Fig. 13 Average and Peak Voltage

Fig. 13은 각 픽업별 출력 신호의 FFT 분석 결과이다. 새로운 구조는 기존 구조에 비해 약 2배가량 신호의 출력이 높아진 것을 확인 할 수 있다.

만약 기존 구조 픽업의 출력을 새로운 구조 픽업의 출력 수준으로 그 신호를 증폭하여 사용하면, 그 증폭만큼 노이즈 역시 증폭된다. 출력 신호의 크기는 스피커를 통한 소리의 크기와 관련이 있으므로, 각 픽업별 노이즈 특성이 유사하다고 가정할 때 더 큰 신호를 만들어내는 것은 음질이 개선되었다고 말할 수 있다. 다시 말해서, SNR이 높은 픽업이 좋은 음질을 낼 수 있는 것이다. 주파수 영역에서의 실험 결과 외에 시간영역에서의 결과에서도 기존 픽업에 비해 약 2배의 큰 신호를 생성하였고, 그 결과는 Table 5에서 볼 수 있다.

4.4 픽업별 노이즈 측정

4.3절에서 신호 크기 증가와 음질 향상의 관계는 각 픽업별 노이즈 특성이 크게 차이가 없다는 가정 하에서 이루어졌다. 노이즈 측정은 기존 구조, 사각형 구조, 삼각형 구조에 대하여 측정하였으며, 현이 진동할 때와 진동하지 않을 때의 노이즈는 항상 일정하다는 가정을 하였다.

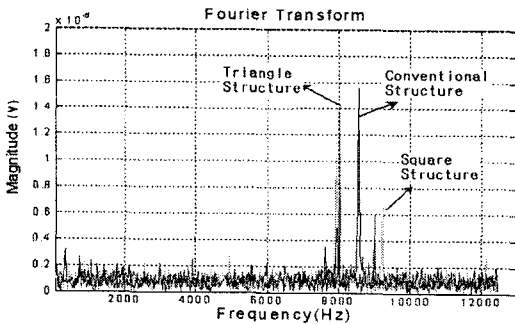


Fig. 14 Noise Signal Frequency Analysis

Fig. 14는 노이즈 데이터의 FFT분석 결과이다. 주파수 영역에서의 분석 결과, 각 구조에 따른 큰 차이는 나타나지 않으며 서로 유사함을 보여준다. 시간 영역에서의 각 픽업별 신호와 노이즈의 크기 및 SNR을 비교한 결과는 Table 5와 같다. SNR이란 신호 대 노이즈의 상대적인 크기를 측정하는 것으로 대개 데시벨(dB)로 나타낸다. 신호와 노이즈를 각각 V_s , V_n 이라 하면 SNR은 식 (3)과 같이 표현되며, SNR이 클수록 양호한 신호라 할 수 있다.³

$$SNR = 20 \log_{10} \left(\frac{V_s}{V_n} \right) \quad (3)$$

Table 5 Pickup Output Results

Model	String No.	Vave (mV)	Vpeak (mV)	Vnoise (mV)	SNR (dB)
Conventional Structure	3	7.35	28.62	0.77438	31.35
	4	8.43	25.72		30.43
Square Structure	3	13.90	54.10	0.67699	38.05
	4	13.55	39.53		35.33
Triangle Structure	3	14.58	60.25	0.73679	38.25
	4	12.87	40.68		34.84

Table 5에서 V_{ave} 와 V_{peak} 는 각각 출력 신호의 평균값과 피크값을 나타내고, V_{noise} 는 노이즈의 평균값을 나타내며, V_{peak} 와 V_{noise} 를 이용하여 SNR값을 나타내었다. 각 픽업별로 노이즈 크기는 10% 이내의 차이를 보이고 있으나, 제안된 구조를 통해서 얻을 수 있는 신호의 크기는 약 200% 가량 증가되었다. SNR 측면에서 구조 개선에 따라 기존구조의 픽업보다 더 양질의 전기 신호를 생성해 낸다.

5. 결론

본 연구는 현의 진동에 의한 힘을 압전소자에 보다 효율적으로 전달하기 위해 새들 구조를 개선한 연구이며, 사각형과 삼각형 구조의 새로운 구조를 제안하였다.

현에 의한 힘이 압전소자로 전달 될 때, 중간에 발생하는 손실을 줄이며 간섭현상을 감소시키기 위해 새로운 구조를 설계하였고 유한요소 해석을 통해 최적의 새들 구조를 결정하여 시제품을 제작하였다. 마지막으로 제안된 구조의 개선사항 및 픽업별 특성을 알아보기 위하여 측정 장비를 이용해 실험 및 분석을 하였다.

유한요소 해석 결과에서 기존 구조보다 간섭 현상이 감소하여 더 큰 힘을 전달할 수 있음을 확인하였다. 실제 실험을 통한 측정 결과에서도 구조가 개선됨에 따라 출력신호는 약 2배가량 증가하여 큰 신호를 얻을 수 있으며 각 구조별로 노이즈 크기는 모든 구조에서 약 10% 이내의 차이를 보여, 결론적으로 SNR 측면에서 음질이 향상 되었다고 판단된다.

후 기

이 논문은 2005년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다. 또한, 실험용 기타를 제공해준 (주)덕진기업에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ko, J. Y., "ANSYS and Finite Element Method," Sigma Press, pp. 310-340, 2001.
2. Hibbeler, R. C., "Mechanics of Materials 3rd Edition," Prentice Hall, pp. 255-356, 1997.
3. Hierold, C., "From micro to nanosystems: mechanical sensors go nano," J. Micromech. Microeng., Vol. 14, pp. 1-11, 2004.