

일렉트로어쿠스틱 기타용 광 픽업의 개발

Development of Optical Pickup for ElectroAcoustic Guitar

신봉희¹, 박영우^{2,✉}
Bong-Hi Shin¹ and Young-Woo Park^{2,✉}

¹ 인천대학교 컴퓨터공학부 (Department of Computer Science, Incheon National Univ.)

² 충남대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National Univ.)

✉ Corresponding author: ywpark@cnu.ac.kr, Tel: +82-42-821-6874

Manuscript received: 2014.3.5 / Revised: 2014.4.23 / Accepted: 2014.4.24

A guitar pickup is a transducer that converts string vibration to an electrical signal. The magnetic and piezo pickups are the most commonly used for the respective electric and electroacoustic guitars. The magnetic pickups are prone to magnetic interference between the steel strings and permanent magnets, while the piezo ones are not free from signal inference between the strings. Thus, this paper presents the development of an optical pickup for the electroacoustic guitar. The proposed optical pickup has the top-to-bottom structure. It uses two of Infrared (IR) Light Emitting Diode (LED) and one photodetector. The developed optical pickup is subjected to the evaluation with commonly used piezoelectric pickup. It becomes obvious that SNR with the optical pickup is increased by 45 percent in average, compared with the piezoelectric pickup. It can be concluded that the developed optical pickup has a potential to be applied to the acoustic guitar.

Key Words: Optical Pickup (광 픽업), IR LED (적외선 발광 다이오드), Photodetector (광 검출기), Lambertian Source (람버시안 소스), SNR (신호 대 잡음 비율)

1. 서론

픽업은 기타의 소리신호에서 전기신호를 만들어내는 것이 아니라 현으로부터 전기신호를 만들어내기 때문에, 스피커를 통해 나온 신호가 기타의 원음에 가까울수록 이상적인 기타 픽업이라 할 수 있다. 기타 픽업은 구현 방식에 따라 피에조(Piezo) 픽업, 마그네틱(Magnetic) 픽업, 광(Optical) 픽업 등으로 나눌 수 있다. 피에조 픽업의 경우, 현과 센서 사이의 물리적 접촉으로부터 신호를 유도해내는 방식으로 각각의 현이 완전하게 독립된 센서부를 갖지 못하기 때문에 서로 간의 간섭이 심하고 이로 인한 고주파의 출력신호의 비율이 높아 본래 기타 소리보다 날카로운 소리를 갖는 문

제점이 있다.¹ 전자기 유도 현상을 이용하는 마그네틱 픽업의 경우, 기타 음에 해당하는 전기신호를 만들어 내는 자석과 코일이 오히려 현의 움직임을 방해하기 때문에 이를 해결하기 위한 구조가 복잡해지고 60Hz 근방에서 노이즈가 발생하는 문제가 있다. 광 픽업의 경우, 다른 픽업 방식과 달리 비접촉식으로 신호를 유도해내는 각 현 사이의 간섭은 적지만 광원과 현 그리고 검출기의 정렬 위치에 따라 출력신호의 변화폭이 크고, 픽업 자체의 부피가 큰 문제점이 있다.²

이에 본 연구에서는 앞서 언급한 기존 픽업들의 문제점들을 개선하기 위해 기타 현 재질에 영향을 받지 않는 비접촉식 광 픽업을 기본 방식으로 선택하고, 광 픽업 자체가 갖는 구조적 한계를

극복하고자 한다. 따라서 기존 광 픽업 방식의 구조와 달리 현의 위아래에 광원과 검출기를 위치시켜 픽업 장치의 필요 공간을 줄이고, 나란히 설치된 두 개의 광원을 이용해 신호의 출력 변화폭을 줄일 수 있는 새로운 구조의 기타 픽업을 제안한다.

2. 광 픽업의 개발

광 픽업은 크게 구조설계와 회로설계로 나눌 수 있다. 구조설계 측면에서는 광원과 검출기를 조합한 신개념의 광 픽업 구조와 하우징을 설계하였다. 회로설계 측면에서는 필터, 합산기 및 증폭 회로를 설계하였다.

2.1 원리

광 픽업은 광원인 적외선 발광 다이오드와 검출기 사이에 현이 위치하여 현의 그림자로부터 기타 음색에 해당하는 아날로그 신호를 생성해 낸다. 이에 본 논문에서는 신호 생성을 위한 현의 움직임을 검출함에 있어서 다음의 두 가지 원리를 고려하였다.

먼저 검출기 면에 대한 현의 수직적 움직임 검출이 필요하다. 즉, 광원으로부터 현까지의 거리가 검출기에 도달하는 빛의 양을 결정하게 된다. 따라서 현이 광원에 가까워짐에 따라 검출기에 도달하는 빛의 양은 감소하고, 광원과 현 사이의 거리가 증가하면 검출기에 도달하는 빛의 양은 증가하게 된다.

다음으로 현의 검출기 면의 평행적 움직임에 대한 검출이 필요하다. 광원의 구배(Gradient) 특성으로 인해 조도는 선형적인 분포로 검출되며, 이러한 분포는 검출기 표면에서 현의 평행한 움직임들의 차이를 검출할 수 있도록 한다. 따라서 검출기는 현의 진동에 의해 받아들여지는 조도의 변화에 상응하는 전류를 출력하게 되고, 이로 인해 현의 진동을 전기적 신호로 재생할 수 있게 된다.³

2.2 구조설계

육현 기타용 광 픽업의 구조 설계 시, 고려해야 할 사항은 다음과 같다: ① 협소한 공간에 설치할 수 있어야 한다. ② 각 현의 움직임을 언제나 감지할 수 있어야 한다. ③ 외·내부의 빛에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 이를 위해서는 광원 및 검출기의 선택이 우선적으로 필요하다.

Fig. 1에 나타나 있는 것과 같이 광원인 발광

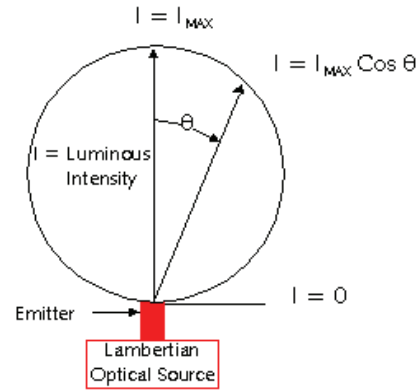


Fig. 1 Lambertian distribution relation

다이오드는 람버시안 소스(Lambertian Source)로 간주할 수 있으며 람버시안 코사인 법칙을 따른다. 즉, 광원은 보는 각도의 코사인에 비례하는 조도를 갖기 때문에 광원은 가능한 넓은 반각(Half Angle)을 가져야 한다. 따라서 본 논문에서는 직경 3mm의 광원(모델명:ST-8L)과 이에 적합한 검출기(모델명: ST-23W)를 선택하였다. 다음으로는 광원과 현 그리고 검출기의 정렬문제를 해결해야 한다. 일반적인 광 픽업 방식에서는 안정된 전기신호를 얻기 위한 방법으로 두 개 이상의 검출기를 사용하여 각 검출기를 통해 들어오는 신호의 차이 값을 통해 전기신호를 출력하는데, 이러한 방법은 픽업장치의 부피를 크게 할 뿐만 아니라 회로의 구조를 복잡하게 만드는 문제가 있다.²

단일 발광 구조의 광 픽업은 광원의 영향 내에 검출기가 존재한다 하더라도 그 정렬 위치가 변하게 되면 이에 따른 출력 신호의 변화 폭이 커 신호가 왜곡되거나 아예 검출되지 않는 문제가 있다. 이는 Fig. 2에 나타나 있으며 (a)와 (b)의 검출기 위치 변화에 따른 신호의 변화를 확인 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 두 개의 광원과 한 개의 검출기를 갖는 구조를 설계하였다.

이러한 구조는 두 광원의 영향이 중첩되는 곳에 검출기를 위치시키기 때문에 기존의 광 픽업 구조가 갖는 신호 출력의 큰 변화폭 문제를 해결할 수 있다. 좌우에 광원과 검출기를 정렬 시키는 형태의 구조를 사용하였고, 이는 주로 4현의 베이스 기타에 적용되어 왔다. 이러한 구조는 6현을 가진 어쿠스틱 기타에 적용하였을 경우, 광원간의 간섭에 의한 신호의 왜곡이나 각각의 광원과 검출기 장착을 위한 개별적 기관의 필요성 등의 문제

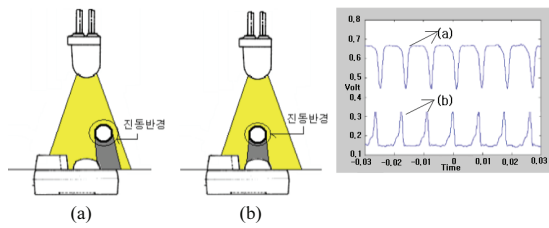


Fig. 2 Single-LED structure

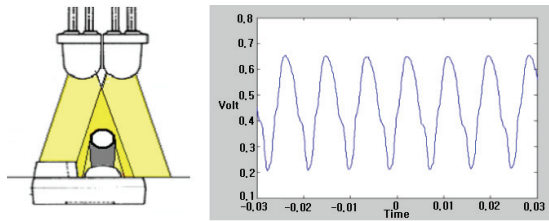


Fig. 3 Double-LED structure

가 있어 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 협소한 공간에서의 설치가 용이하도록 현의 상하에 광 소자를 배치하는 구조를 고안하였다. 이러한 상하 정렬구조를 통해 2개의 기판에 모든 검출기와 광원을 장착할 수 있게 되어 간단한 내부구조를 갖고 외부의 빛만을 차단하여 외부 영향을 최소화 할 수 있도록 하는 단순한 구조를 하우징의 설계에 반영하여 설치가 용이하고, 현의 교체가 쉽도록 하였다.

2.3 회로설계

제안하는 광 픽업장치에 들어가는 회로는 광원과 검출기를 이용해 현의 움직임을 전압 신호로 바꾸는 회로와 원하는 주파수 대역의 신호를 얻기 위한 저역/고역 통과 필터 회로, 버퍼 회로, 합산기 회로 등으로 구성된다. 또한 기타 음역대 외의 주파수 성분을 걸러내기 위하여 버터워스(Butterworth) 타입의 2차 필터를 설계하였다.

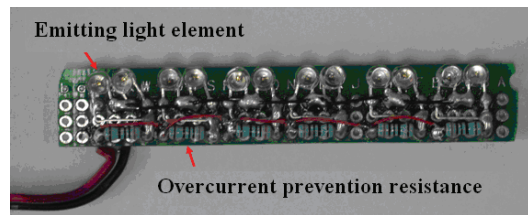
저역/고역 필터의 경우, 컷-오프(Cut-off) 주파수를 정확히 원하는 주파수로 설정하게 되면 필터의 성능 상, 원하는 주파수를 통과시키지 못할 수 있다. 따라서 각 현에 대한 원하는 주파수를 통과시키기 위해 보다 큰 폭의 주파수 대역으로 컷-오프 주파수를 설정해야만 한다. 따라서 저역 통과 필터의 주파수(CFL)는 각 현이 낼 수 있는 가장 낮은 음보다 9음 낮은 음에 해당하는 주파수로 컷-오프 주파수를 정하였다. 또한 고역 통과 필터의 주파수(CFH)는 기타가 낼 수 있는 최고 주파수인

Table 1 Cut-off frequency for each string (Hz)

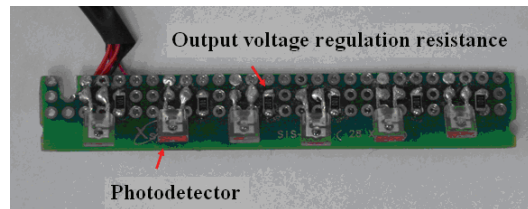
String	#1	#2	#3	#4	#5	#6
RF	82.4	110.0	146.8	196.0	246.9	329.6
CFL	49.0	65.4	87.3	116.5	146.8	196.0
CFH	5k	5k	5k	5k	5k	5k

Table 2 Gain and optical-element output of string

String	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Gain	10	6.7	6.7	6.7	1	1
Output (mV)	300	300	300	400	150	120



(a) Upper circuit board



(b) Bottom circuit board

Fig. 4 Fabricated circuit boards

약 1050Hz보다 큰 범위이면서, 난청이 유발되는 주파수(4kHz~6kHz) 인근인 5kHz를 컷-오프 주파수로 정하였다. Table 1에 각 현에 대한 필터의 컷-오프 주파수를 나타내었다.

각 현에서 발생하는 신호의 크기는 현의 굵기와 변위 그리고 광 소자와의 정렬에 영향을 받으므로 여러 신호를 하나의 신호로 만들어줌과 동시에 각 현의 출력신호에 알맞은 증폭비(Gain)를 줄 수 있는 합산기와 증폭회로를 설계하였다.⁴ Table 2는 이러한 값들을 정리한 것으로 각 현에 증폭비를 적용한 후의 각 현에 대한 출력 전압은 120~400mV에 이르는 것으로 나타났다.

3. 제작

설계된 구조와 회로는 자체 제작하였다. 상·하부 기판은 상용 기판을 원하는 크기로 자른 뒤, 회로도에 따라 각 소자를 배치 및 납땀하였다. Fig.

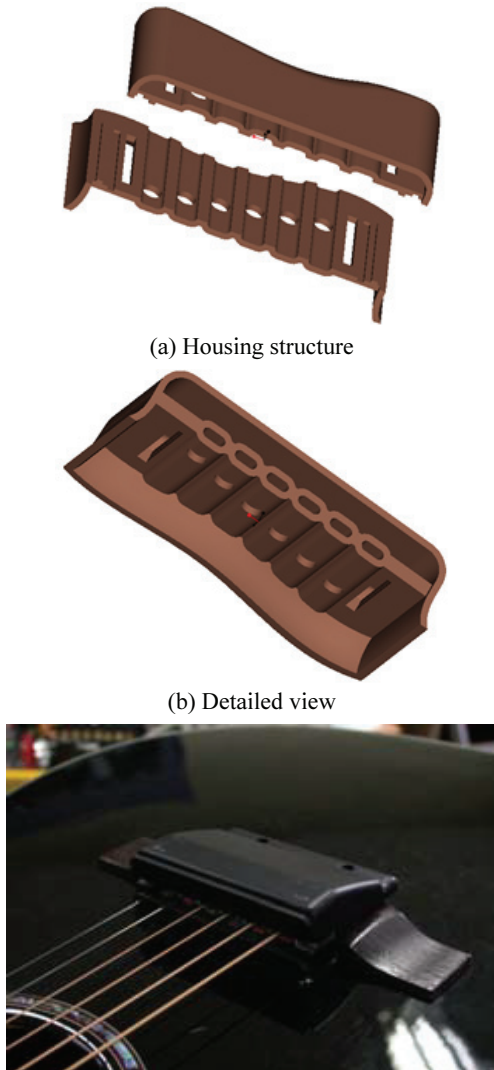


Fig. 5 Fabricated housing

4(a)는 광원을 포함하는 상부기판이며, Fig. 4(b)는 검출기를 포함하는 하부기판이다.

하우징은 상·하 구조로 되어있으며, 플라스틱을 기계적으로 가공하여 제작하였다. 상부 기판은 상부 하우징의 커버와 내부 구조 사이에 위치하며 (Fig. 5(a)), 하부 기판은 하부 하우징의 아래 쪽에 위치한다(Fig. 5(b)). 결합된 하우징에 보이는 6개의 긴 홈은 현이 지나가는 위치로 광원과 검출기의 작동은 홈 위에 존재하는 또 다른 홈을 통해 이루어진다. Fig. 5(c)는 기타의 새들 앞부분에 설치된 광 픽업을 나타낸다.

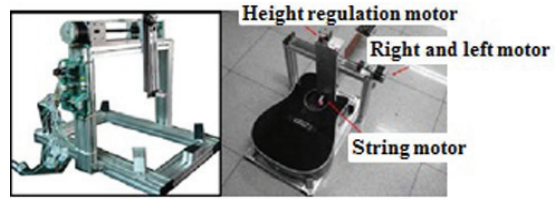


Fig. 6 Test rig

4. 실험 및 분석

4.1 성능평가 시스템

개발된 광 픽업의 객관적인 성능평가를 위해 두 가지 경우에 대한 실험을 수행하였다. 첫 번째는 개발된 광 픽업의 최적 위치 선정 실험으로 사용자의 편의성과 신호의 신뢰성을 평가 항목으로 선정하여 수행한다. 두 번째 실험은 기존 피에조 픽업과의 비교 실험으로 각각의 광 픽업에 대한 픽업 신호와 주파수 신호를 평가 항목으로 선정하여 비교 분석함으로써 음질 향상을 확인한다.

실험을 위한 성능평가 시스템은 Fig. 6과 같이 자체 개발된 시스템을 사용하였다. 성능평가 시스템은 현의 진동을 위한 모터, 현의 위치 측정을 위한 마이크로프로세서와 갭(Gap) 센서, 신호의 입·출력 데이터 수집을 위한 데이터 수집 장치(Data Acquisition, DAQ)로 이루어진다.

4.2 픽업별 출력 및 잡음 측정

기존 피에조 픽업과의 비교 실험을 수행하여 광 픽업의 음질 향상을 확인하였다. 제작된 광 픽업은 현의 진동 감지 장치 구조를 포함하며, 이를 실제 기타에 설치하여 실험하였다. 이 때, 픽업의 위치는 사용자의 편의성과 신호의 신뢰성을 모두 만족해야 하며 이는 픽업의 위치 선정 실험을 통해 결정하였으며 이는 Table 3과 4에 나타나 있다. 실제 픽업을 기타에 장착한 후, 얻은 신호를 기존 피에조 픽업으로 얻은 신호와 주파수 신호 비교 분석을 통하여 그 신뢰성을 검토한다.

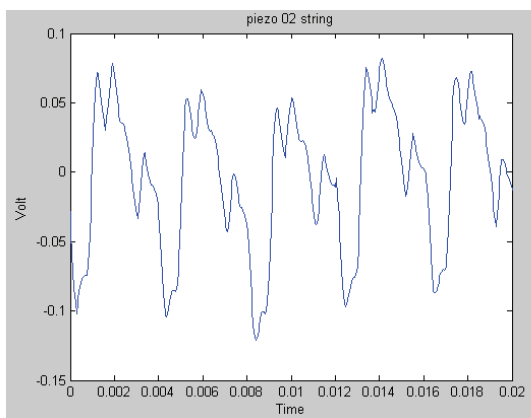
기존 피에조 방식과 광 방식의 픽업 신호를 측정하여 Fig. 7과 Fig. 8로 비교·분석하였다. Fig. 7은 피에조 방식, Fig. 8는 광 픽업 방식으로 측정된 기타의 2번째 현에 대한 신호로 (a)와 (b)는 각각 시간영역 픽업 신호와 이를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)한 결과를 의미한다. Fig. 7(a)의 피에조 픽업 결과를 보면 신호의 왜곡이 심함을 알 수 있으며 (b)의 FFT 변환 결과를 보더라도 2번째

Table 3 Distance of between sensor and bridge

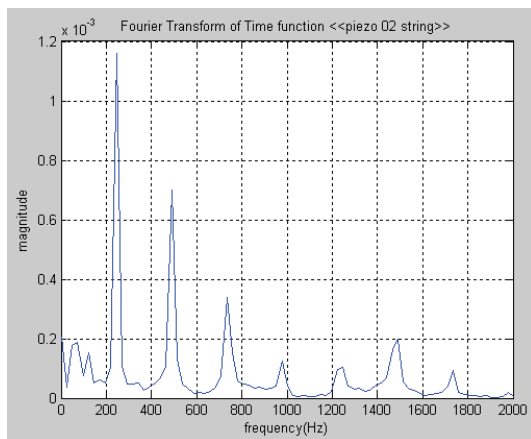
Distance (mm)	Vp-p (mV)
10	165
15	202
20	244
25	300

Table 4 Distance of between sensor and string

Between 2 sensors (mm)	Between String and Detector (mm)	Vp-p (mV)
16	8	100
	4	500
17	8.5	350
	4.25	300



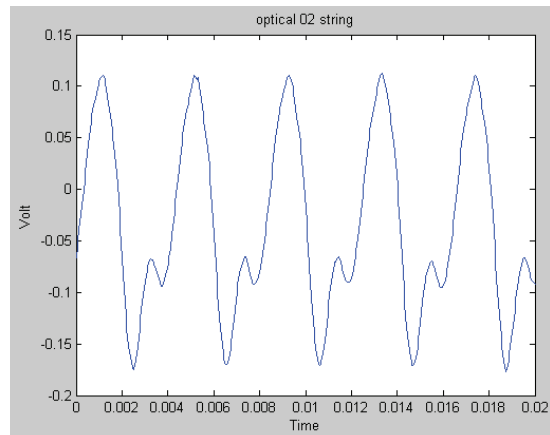
(a) Signal for second string in time domain



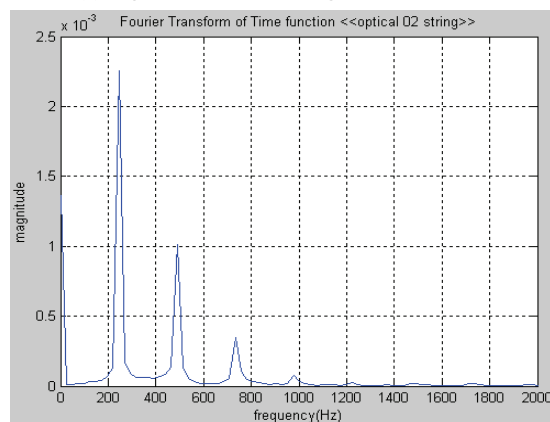
(b) Signal for second string in frequency domain

Fig. 7 Output signal from piezoelectric pickup

현의 공진주파수인 250Hz 이 후에도 일정 배음을 넘어 약 1.7kHz까지 계속적인 신호가 존재하여 측



(a) Signal for second string in time domain



(b) Signal for second string in frequency domain

Fig. 8 Output signal from optical pickup

정된 신호가 불안정함을 알 수 있다. Fig. 8의 광픽업 방식의 신호 측정 결과를 보면 왜곡이 존재하기는 하지만 피에조 픽업에 비해 왜곡이 덜하고 FFT 변환 결과에서도 공진 주파수의 피크값 이후, 2번의 배음만 존재 하여 피에조 픽업 방식에서 고주파수 영역인 날카로운 소리 성분 사라졌다고 볼 수 있으며 이를 통해 향상된 음질 신호를 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 기타의 1현부터 6현까지 모든 현에 대해 동일한 양상을 보인다.

픽업 장치의 검출 능력을 보기 위한 평가 항목 중 하나가 신호 대 잡음 비율(Signal to Noise Ratio, SNR)이다. 이는 특정 시점에서의 신호와 잡음에 대한 비율로 식(1)과 같이 구할 수 있다. 이 때 V_s 는 최대 신호 출력이고, V_n 은 평균 잡음 출력이다.

$$SNR = 20 \log_{10} (V_s / V_n) \quad (1)$$

Table 5 Comparison of experimental measurements

Type	String No.	V _{ave} (mV)	V _{p-p} (mV)	V _{noise} (mV)	SNR (dB)
Piezo Pickup	1	15.5	148	2.03	37.26
	2	13.7	120	1.80	40.92
	3	13.7	110	1.80	35.72
	4	17.1	130	2.24	35.72
	5	28.8	229	3.78	35.64
	6	31.1	185	4.08	33.13
Optical Pickup	1	63.5	453	2.16	46.43
	2	52.5	335	1.79	45.44
	3	39.2	328	1.33	47.84
	4	28.85	215	0.98	46.82
	5	72.0	517	2.45	46.49
	6	31.25	225	1.06	46.54

Table 5는 각 방식에 따른 실험 결과를 나타낸다. 두 방식의 평균 및 최대 출력 전압은 광 방식의 픽업 결과가 피에조 방식에 비해 큰 값을 갖는 반면 잡음의 경우, 두 방식에 큰 차이가 없을 것을 볼 수 있다. 이 실험 값들을 통해 신호 대 잡음 비율을 구해 보면 피에조 방식의 비율보다 본 연구에서 개발된 광 방식의 픽업이 최대 40.5% 증가된 값을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 이는 비슷한 잡음을 갖지만 출력 신호 자체가 향상되어 그 비율이 높아진 것으로 보다 상대적으로 향상된 음질을 얻을 수 있다는 것으로 분석 가능하다.

5. 결론

본 연구를 통하여 광 소자를 이용한 간단한 구조의 새로운 기타 픽업을 개발하였다. 광 픽업의 구조는 아직 많은 연구와 개발이 이루어지지 않은 기존 광 픽업의 문제점을 해결하기 위해 복잡한 솔루션을 통한 결과 도출이 아닌 간단하고 쉬운 솔루션을 제공하였다. 또한 필터를 설계하여 노이즈를 제거하였고, 상하 이중 발광 구조를 적용하여 발광부와 검출부의 미세한 정렬위치에 따른 출력 신호의 차이를 해결하여 기존 픽업 보다 기타의 음질을 향상할 수 있는 방향을 제시하였다.

후 기

이 논문은 인천대학교 2012년 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Horowitz, P., Hill, W., and Hayes, T. C., "The Art of Electronics," Cambridge university press Cambridge, 2nd Ed., 1989.
2. Carruthers, G., "Electro-optics Handbook," RW Waynant, R. W. and Ediger, M. N., (Eds), McGraw-Hill, 1994.
3. Boyd, R. W., "Radiometry and the Detection of Optical Radiation," John Wiley and Sons, Paper No. 261, 1983.
4. Mancini, R. and Carter, B., "Op Amps for Everyone," 3rd Ed., IET, 2009.