

광 마이크로폰의 주파수 응답특성 분석

Analysis of Frequency Response Characteristics in Optical Microphone

염경태, 김관규, 허도근, 김용갑
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Keong-Tae Yeom(yorko1578@nate.com), Kwan-Kyu Kim(Kwankyu0707@nate.com),
Do-Geun Heh(dghuh@wonkwang.ac.kr), Yong-Kab Kim(ykim@wonkwang.ac.kr)

요약

본 논문에서는 광 마이크로폰의 주파수 응답특성 분석을 위해 시스템을 제안하고 구현하였다. 현재 사용되어지고 있는 캐패시턴스 마이크로폰과 광섬유 전송로형 광 마이크로폰(FOM)은 낮은 지향성과 크기, 무게, 비싼 가격 등에서 단점을 나타내고 있다. 반면 제안된 광 마이크로폰은 저가의 소자로 구성할 수 있으며, 소형, 경량화, 높은 지향성 등의 장점을 갖는다. 본 논문에서 제안하는 광 마이크로폰의 헤드 부는 인가된 음압에 따라서 전후로 움직이게 되어있으며, 반사판이 부착되어 있는 형태로 구성되어 있다. 광 헤드와 진동판사이의 거리를 변화시켜가며 응답특성을 측정하여 선형성과 민감도가 최대인 지점을 동작 점으로 결정하였다. 컴퓨터 기반 음향 측정/분석 프로그램인 Smart Live와 USBPre를 사용하여 음향 신호의 주파수를 변화시켜 가며 구현한 광 마이크로폰의 광전 변환된 신호의 출력을 측정하였으며, 기존의 캐패시턴스 마이크로폰과 비교 분석하였다. 측정된 광 마이크로폰은 비교 콘덴서 마이크로폰과 거의 동일한 출력 특성을 나타내었으며, 주파수 대역폭은 약 ± 3 [dB] 이내에서 300[Hz]-3[kHz] 정도의 성능을 나타내었다.

■ 중심어 : | 광센서 | 마이크로폰 | 진동판 | 음향-광 센서 | 트랜스듀서 |

Abstract

In this paper, in order to analyze property of frequency response in optical microphone, system was implemented. The capacitance microphone and fiber-optic transmission path type fiber-optic microphone (FOM) have weaknesses in directivity, size, weight, and price. However suggested optical microphone can be constituted by cheap devices, so it has many benefits like small size, light weight, high directivity, etc. Head part of optical microphone which is suggested in this paper is movable back and forth by sound pressure with the attached reflection plate. Operating point is determined by measuring the respond characteristics and choosing the point on which has maximum linearity and sensitivity while changing the distance between optical head and vibrating plate. We measured the output of the O/E transformed signal of the optical microphone while frequency of sound signal is changed using sound measurement/analysis program, Smart Live and USBPre, which are based on PC, and compared the result from an existing capacitance microphone. The measured Optical microphone showed almost similar output characteristics as those of the compared condenser microphone, and its bandwidth performance was about 300[Hz]-3[kHz] at up to 3 [dB].

■ keyword : | Optical Sensor | Microphone | Diaphragm | Acousto-Optic Sensor | Transducer |

* 본 연구는 2006년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행되었습니다.

접수번호 : #080325-002

접수일자 : 2008년 03월 25일

심사완료일 : 2008년 05월 13일

교신저자 : 염경태, e-mail : yorko1578@nate.com

I. 서론

반도체 산업과 광기술의 비약적인 발전과 함께 저가의 광소자 사용이 가능해짐에 따라 가격 경쟁력을 갖는 고품질의 응용 제품들이 개발되어 지고 있다. 이 중에서 캐패시턴스 마이크로폰의 단점인 크기, 무게, 가격, 지향성 등을 보완할 목적으로 광 마이크로폰에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[1-5]. 콘덴서 마이크로폰은 작은 캐패시턴스(capacitance)의 변화에 따라 소리를 변조해 주기 위해 고가의 프리앰프(preamplifier)와 파워앰프(power-amplifier)를 필요로 하기 때문에 가격이 비싸다 [3]. 또한 광섬유를 이용한 광 마이크로폰은 주변의 전자 기장이나 방사선에 의한 간섭이 전혀 발생하지 않으며 음압에 대한 감도가 뛰어나며 광섬유를 이용한 광 전송 방식을 사용하여 원거리 신호 탐지와 전송이 가능하기 때문에 음향신호 감지에 효율적이다[6]. 그러나 수·발광부와 Circulator 의 가격이 고가이기 때문에 상대적으로 마이크로폰의 가격이 비싸다.

반면 광섬유를 사용하지 않고 저가의 수·발광부만을 사용하면 저가이며 경박단소한 형태의 마이크로폰을 제작할 수 있다.

음향신호를 광신호로 변환시켜주는 광 변환 기술에 기초한 광 마이크로폰은 사용하는 광 변조방식에 따라 세기 변조, 위상 변조, 편광 변조방식으로 나눌 수 있다. 위상 변조방식과 편광 변조방식은 미세한 거동도 측정이 가능하므로 감도가 높은 마이크로폰을 제작할 수 있지만 충격이나 진동, 온도 등과 같은 외부요인에 쉽게 영향을 받는 단점이 있다[7-10]. 그러므로 구조적으로 단순하고 외부 요인에 강하며 안정적인 광의 세기 변조방식이 현실적으로 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 광의 세기 변조방식을 적용하여 저가의 광센서를 이용한 광 마이크로폰을 제작하여 그 특성을 실험하였다. 그리고 제작한 광 마이크로폰의 음압에 의한 동적인 변위의 광 결합 효율과 주파수를 측정함으로써 실제 마이크로폰으로의 적용 가능성을 확인하였다.

II. 본론

1. 광 마이크로폰의 구조와 동작 원리

1.1 광 마이크로폰의 구조

본 논문에서는 저가의 수·발광 소자로 이루어진 광 헤드(optical head)를 구현하였다. 광 마이크로폰의 진동판은 중앙에 반사판을 부착한 형태로 구성되었으며, 외부에서 인가되는 음향 신호의 진행 방향으로 음압(acoustic-pressure)에 비례하여 움직일 수 있도록 되어 있다. 콘덴서 마이크로폰은 진동판의 면적 이동에 비례하여 감도가 결정되므로 진동판이 크고 판 전체의 움직임이 균일해야 하지만 광 마이크로폰은 광이 반사하는 중앙 부분의 움직임만을 고려하면 되기 때문에 소형, 경량의 마이크로폰을 구성할 수 있다. 광기술의 발달과 함께 저렴한 광소자의 사용이 가능하게 됨에 따라 가격 경쟁력을 갖는 고품질의 마이크로폰의 제작이 가능하다.

Laser Diode(LD, 발광부)에서 나오는 광원을 반사판이 부착된 진동판으로 보내고, 음압에 의한 진동판의 진동을 반사판에 의해 되돌아오는 광 신호를 photo-detector (PD, 수광부)에 의해 수신하는 광 헤드(optical-head) 형태로 구성된다.

본 논문에서는 수·발광부와 진동판 사이의 거리를 변화시켜 가면서 광 결합 특성 실험을 하여 선형성과 민감도가 최대인 각과 지점을 선정하여 동작 점으로 결정하였다. 그리고 컴퓨터 기반의 음향 측정/분석 프로그램인 Smart Live 및 Oscilloscope, Spectrum analyzer를 통하여 입력 음향신호의 주파수를 변화 시켜가며 광 마이크로폰의 주파수 응답특성을 실험하였다.

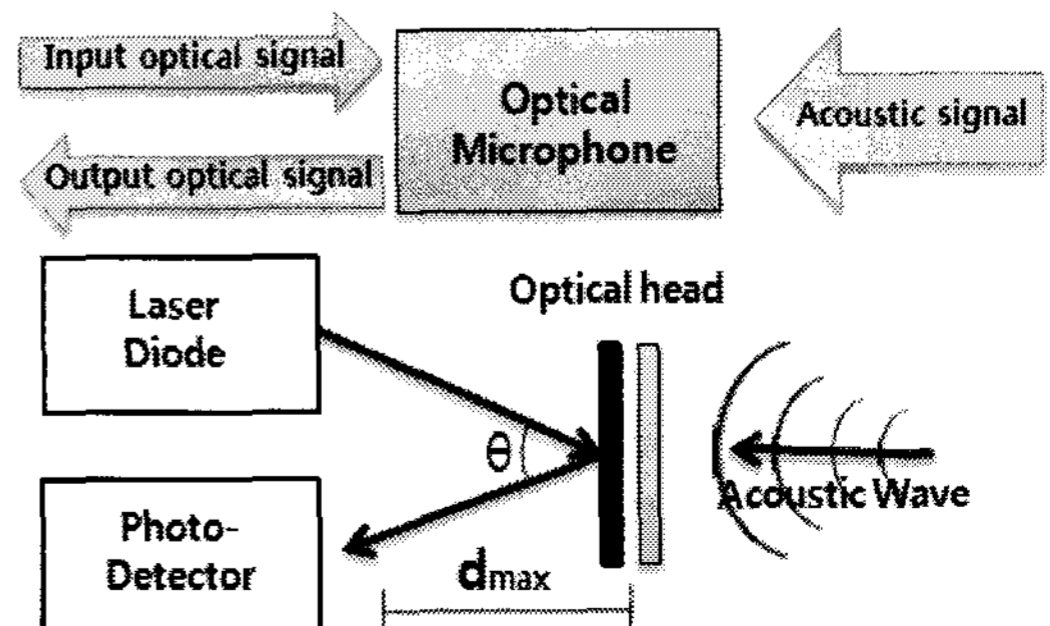


그림 1. 제안된 광 마이크로폰의 구조

본 논문에서 제안된 광 마이크로폰의 구조가 [그림 1]에 나타나 있다. 이 광 마이크로폰은 수·발광부와 진동판(반사판)이 광 헤드를 구성하고 있다. 먼저 발광부는 Laser Diode (632.8[nm], He-Ne, 5[mW])로 구성하였다.

수광부는 광센서를 사용하여 광/전 변환하였다. 측정 장비는 Oscilloscope (Tektronix, TDS3064B, 4CH, 600[MHz]), Spectrum analyzer (Agilent, 8563E, 30[Hz]~26.5[GHz]), GPIB (National Instruments), USBPre (TASCAM US-144), Smart Live(SIA Smart Live v5.0), 스피커(THUNDER, DF-080K, 8[ohm], 300 [W]), 앰프(SOUNDCRAFT, GIGRAC600, 2 x 300[W] / 4 [ohm]), CD플레이어(SONY, CD/DVD PLAYER, DVP-S336), Y 자형케이블(RCA 케이블, 제작), 측정용 마이크(Behringer, ECM8000)등을 사용하였다.

진동판은 전후로 인가된 음압에 의하여 자유롭게 움직이며, 반사판은 진동판과 같은 진동을 하며, Laser Diode에서 나오는 빛을 반사시켜 광센서로 빛을 전달하는 역할을 한다.

1.1 광 마이크로폰의 구조

제안된 광 마이크로폰의 동작 원리를 살펴보면 다음과 같다. 발광부와 수광부, 진동판(반사판)이 서로 72.5°의 각을 이루고 있다. 발광부로부터 광이 방출되어 진동판(반사판)에 광이 반사되어 수광부로 입력되어 광 신호는 전기 신호로 변환 된다.

Smart Live 및 스피커에 의해 발생하는 음파는 공기 압력의 변화를 만들며 진동판의 뒤쪽으로 입사되고, 진동판은 음압의 진행 방향에 따라 전후로 움직이게 된다. 인가된 음압의 세기에 따라 수·발광부와 진동판 사이의 거리가 변화하기 때문에 결합되는 광 파워의 크기도 음압에 비례하여 변하게 된다. 즉, 음압이 커지면 진동판의 변이가 커지게 되어 광신호의 변조 진폭도 증가한다. 결과적으로 제안된 소자들은 음향신호를 광 신호 형태로 변환하여 전달하는 광 마이크로폰의 역할을 하게 된다. 특히, 입력 음향신호를 충실히 재생하기 위해서는 음압에 따른 광신호의 변조 특성이 우수한 선형성 및 민감도를 가져야 한다. 이를 위해 Oscilloscope, Spectrum analyzer를 사용하여 음향 신호의 파형 및 주파수 특성

을 조사하였고, Smart Live를 사용하여 음향신호를 분석을 하였다. 또한 제안하는 광 마이크로폰과 상용화된 캐패시턴스 마이크로폰의 음향수집 능력을 비교 분석 하였다.

2. 실험결과 및 고찰

수·발광부와 진동판으로 구성되어 있는 제안된 광 마이크로폰의 성능 측정을 위한 장치를 [그림 2]와 같이 구성하였다. 광 헤드의 수·발광부는 빔의 각을 적절히 조절할 수 있도록 구성하였다. 진동판은 광이 반사하는 중앙 부분의 움직임만을 고려하면 되기 때문에 중앙부에 작은 반사판을 부착하여 제작하였다. 광 헤드와 진동판 사이의 최적의 간격을 나타내는 동작 점을 결정하기 위하여 이 둘 간의 거리를 일정하게 변화시키면서 진동판에 부착되어 있는 반사판에 의해 반사되어 수신되는 광 파워 결합 효율을 측정하였다. 스피커와 광 마이크로폰과의 거리는 1[m]이며, 스피커의 정중앙에오도록 배치하였다.

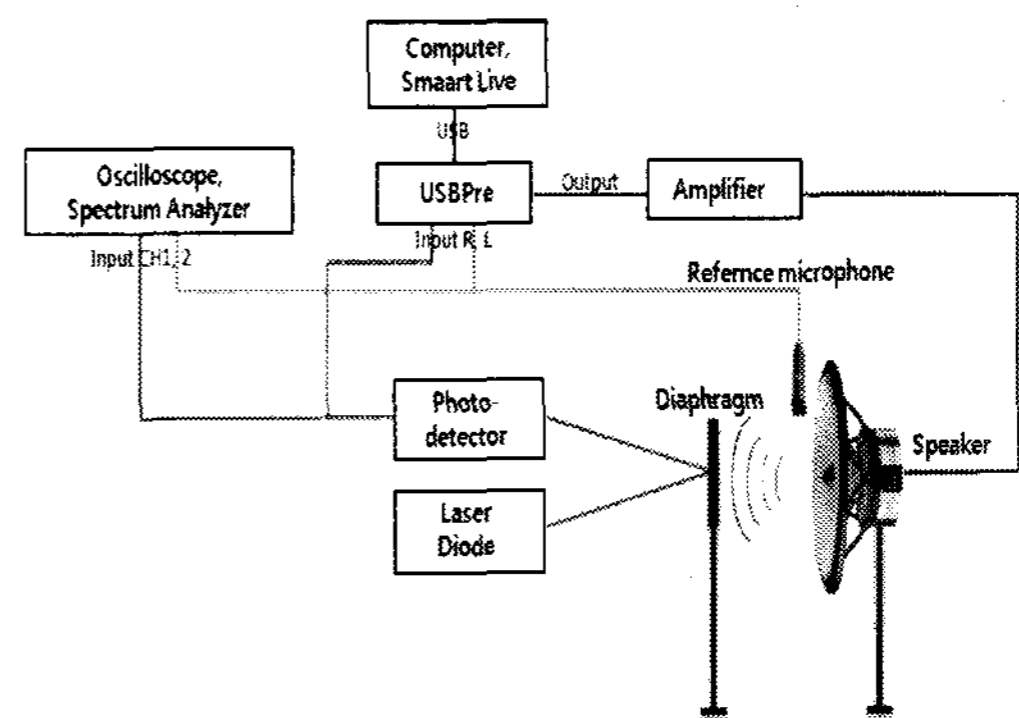


그림 2. 광 마이크로폰의 특성 측정 장치

[그림 3]에는 그 측정결과인 광 헤드와 진동판 사이의 거리에 따른 광 파워 결합 효율에 관한 측정 결과이다. 수·발광부와 진동판 사이의 거리는 가까울수록 더 좋은 광 결합 효율을 나타내지만 광축의 정렬과 발광부의 크기 등으로 인하여 기본적으로 4[mm]의 거리들 두고 정렬하였다. 이 결합 효율은 4[mm]를 기준으로 설정하여 전, 후로 50[μm] 만큼씩 이동시켜 가며 진동에 대한 광 결합 효율을 측정 하였다. 즉, 진동판에 부착되어 있

는 반사판에 빛이 반사하여 수광부의 활성영역에 전부 들어올 때 최대의 광 결합 효율을 나타낸다.

음압에 의하여 진동판의 변이가 생기게 되면, 빔이 수광부의 중심에서 점점 떨어진 지점에 입사되어 광 결합 효율이 감소하게 된다.

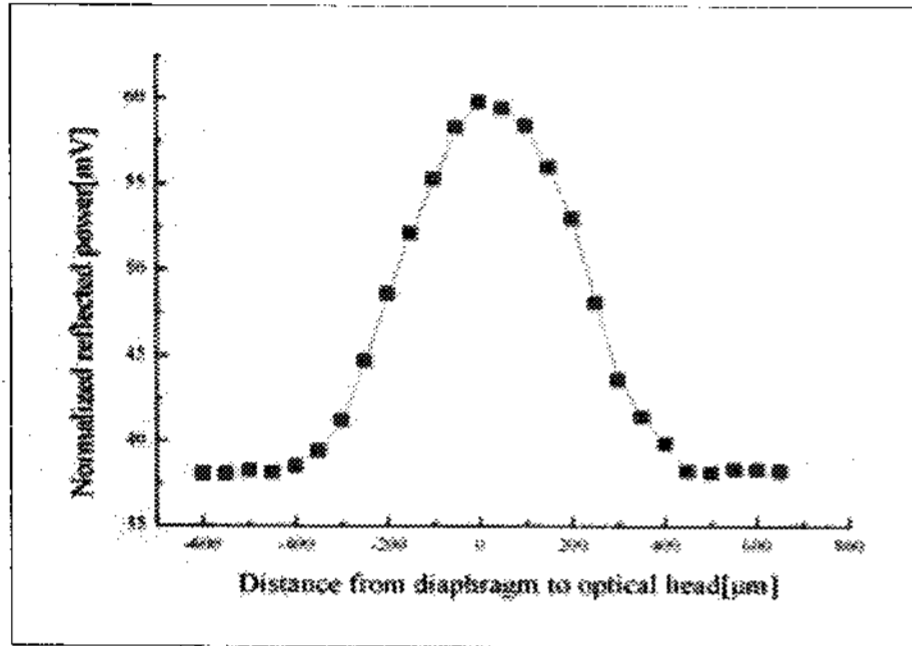


그림 3. 광헤드와 진동판 사이의 거리에 따른 광 파워결합 효율

[그림 4]에서 보는 것과 같이 수·발광부 사이의 각을 θ 라고하면, 진동판이 Δd 만큼 이동 하였을 때, 발광부에서 진동판에 반사되어 수광부로 들어가는 빛이 처음보다 $2\Delta d \cdot \tan\theta/2 \cdot \cos\theta/2$ 만큼 옮겨지는 것을 알 수 있다.

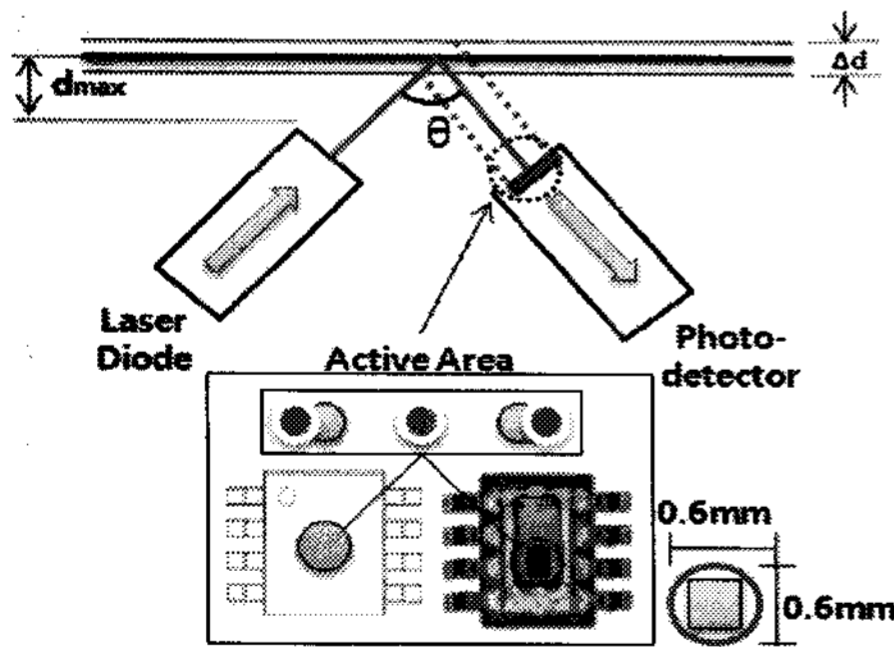


그림 4. 동작점 해석을 위한 광 마이크로폰의 구조 분석.

이 때 발광부로부터 출력되는 빔이 가우시안 함수 형태의 광세기 분포를 갖는다고 가정하면 빔 진행 방향의 지점 z 에서 빔의 세기 분포가 식 (1)과 같이 주어진다 [11].

$$I(\rho, z) = I_0 \left[\frac{W_0}{W(z)} \right]^2 \exp \left[-\frac{2\rho^2}{W^2(z)} \right]$$

$$W(z) = W_0 \left[1 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad W_0 = \left(\frac{\lambda z_0}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \theta \approx \frac{\lambda}{\pi W_0} \quad (1)$$

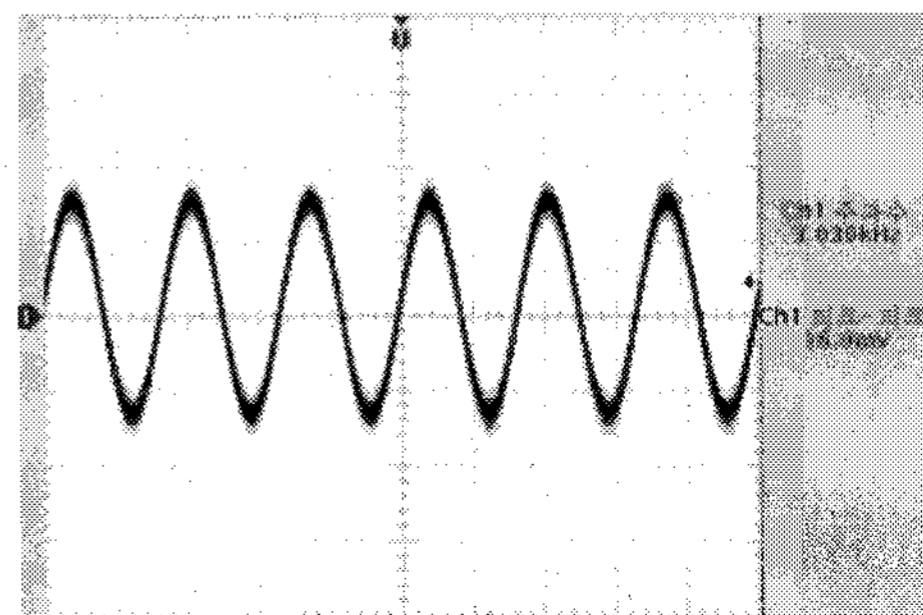
여기서 I_0 와 W_0 는 발광부의 출력단 $z=0$ 에서 광 세기와 빔 반지름을 각각 나타낸다. 그리고 z_0 는 Rayleigh 범위, θ 는 빔의 발산각(divergence angle), λ 는 light source 파장($\approx 632.8[\text{nm}]$)을 각각 나타낸다.

측정을 통하여 가장 큰 파워가 수신되는 d_{max} 를 구하고, [그림 4]에서 보는 것과 같이 발광부에서 나오는 가장 센 빛이 수광부의 중심으로 입사되는 지점을 동작점으로 선정하였다.

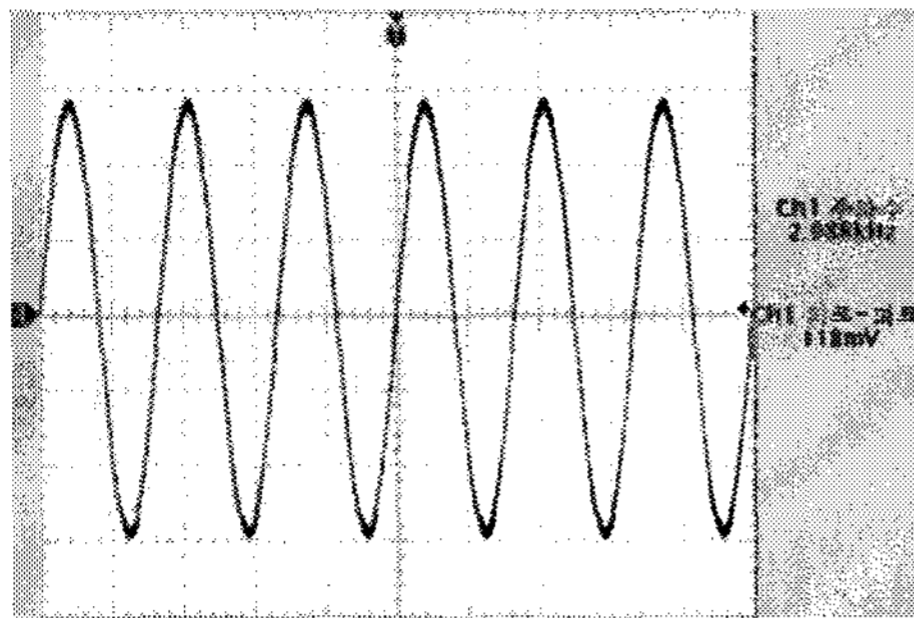
광 결합 효율의 선형성과 민감도가 가장 큰 72.5° 를 광 마이크로폰의 동작점으로 결정하였으며, [그림 2]와 같이 Smart Live 및 USBPre, 스피커를 통하여 발생하는 음향신호를 구현한 광 마이크로폰에 인가시켜 주파수 응답특성을 측정하였다.

이때 구현한 광 마이크로폰의 성능 평가를 위해 상용화된 콘덴서 마이크로폰과 비교 분석하였다.

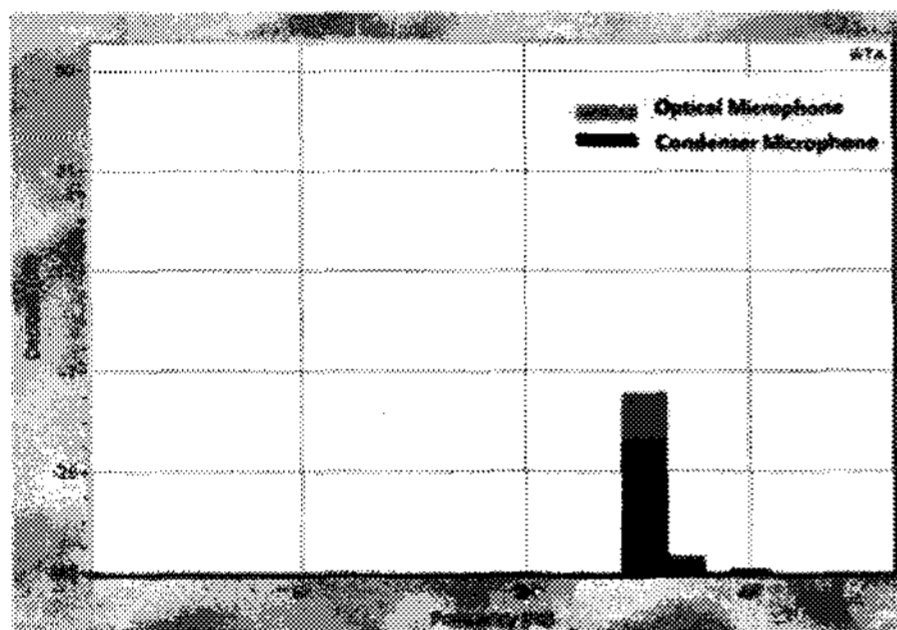
주파수가 3[kHz]이고 음압이 1[Pa]인 음향 신호를 인가할 경우의 광 마이크로폰과 비교 콘덴서 마이크로폰의 출력 신호를 오실로스코프와 Smart Live로 측정한 결과가 [그림 5](a)~(c)에 각각 나타나 있다. [그림 5](a)~(b)로부터 비교 콘덴서 마이크로폰과 제안하고 있는 광 마이크로폰이 거의 동일하며 왜곡이 없는 출력 신호를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 광 마이크론의 특성 분석.

- (a) 콘덴서 마이크론 출력, (b) 광 마이크론 출력
- (c) Smart Live(Real Time Analysis)

[그림 5](c)는 RTA(Real Time Analysis)로 비교 콘텐츠서 마이크론과 제안하는 광 마이크론의 음향신호를 비교한 것으로 거의 동일한 신호임을 확인할 수 있었다. 실험 중 미세한 잡음들이 발생하였는데 이는 기기들과의 연결 상태 및 장비들에 의해 발생하는 잡음과 무향실이 아닌 일반실험실에서 실험을 수행하였기 때문에 생긴 잡음으로 확인하였다.

[그림 6]은 Smart Live에서 발생하는 원 신호와 제안하는 광 마이크론이 측정된 음향 신호를 비교 분석하기 위한 장치이다. 3[kHz]의 신호를 인가한 후 Y자형 RCA 케이블을 제작하여 하나의 신호는 USBPre로 Loop-Back 시켜 기준 신호로 사용하였다. 다른 하나의 신호는 스피커를 거쳐 출력시킨 후 제안하는 광 마이크론으로 음향 신호를 측정하여 기준 신호와 비교 분석을 하기위한 장치이다.

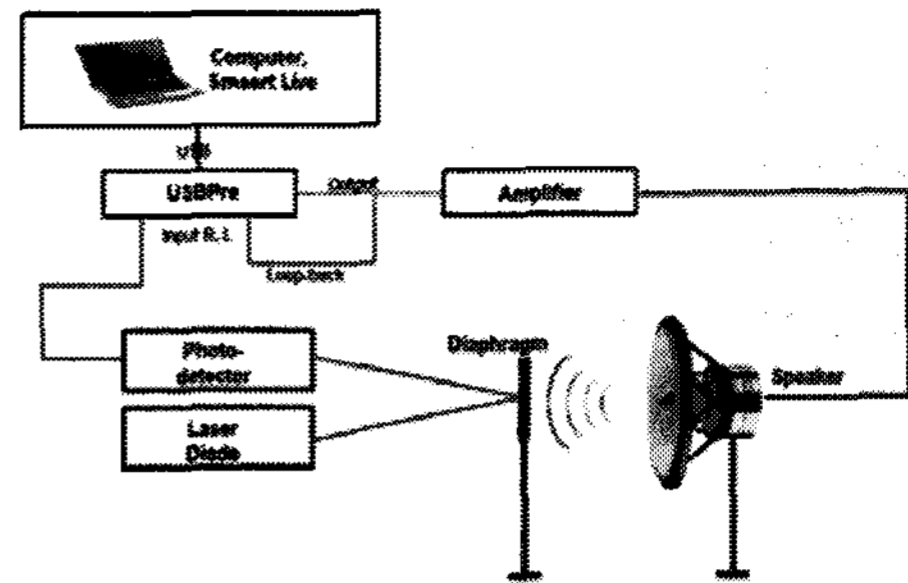
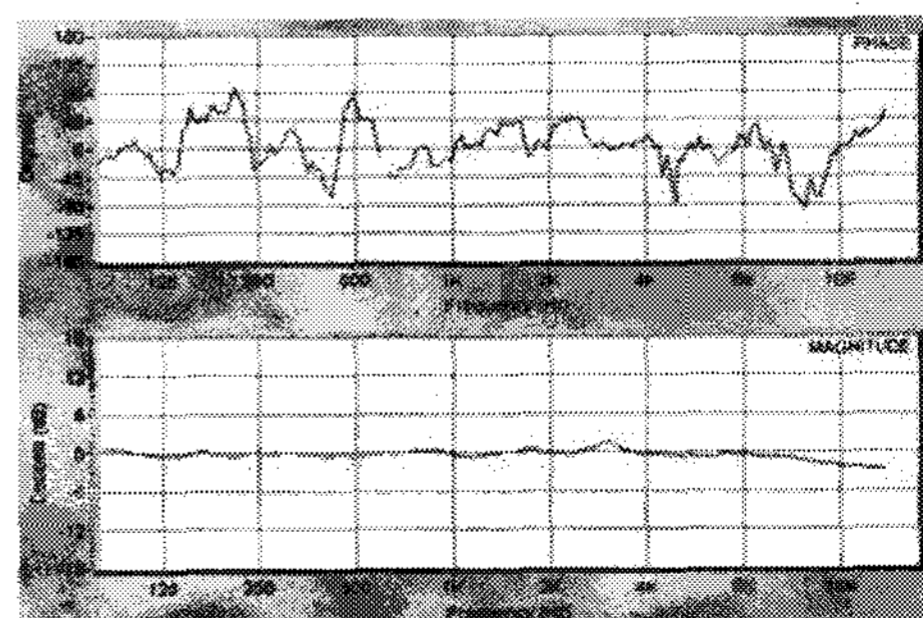


그림 6. 광 마이크론과 원신호의 비교 분석 장치

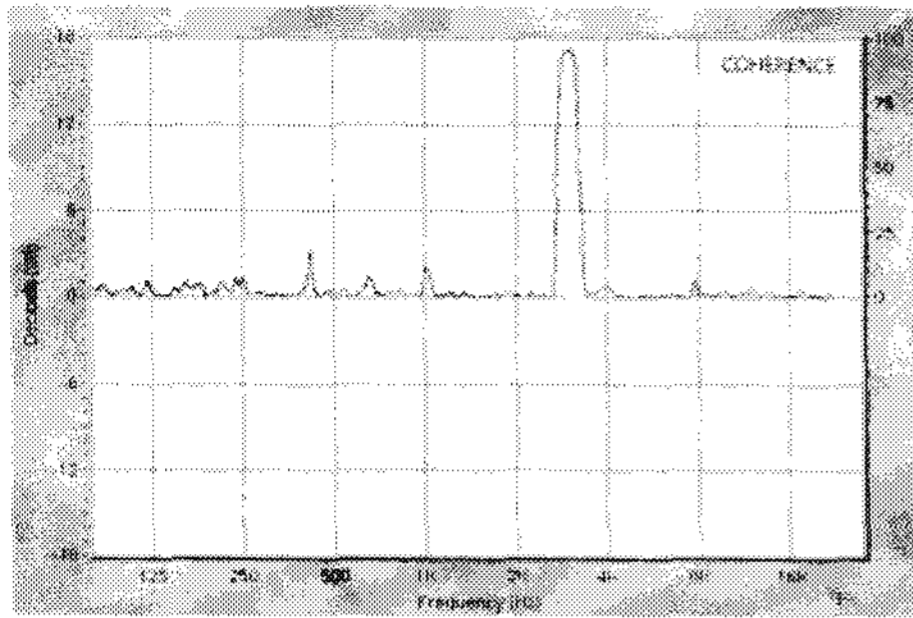
[그림 7](a)는 위상특성(Phase)과 메그니튜드(Magnitude)이다. 메그니튜드는 주파수 응답특성을 나타내어준다. (b)는 코헤런스(Coherence)를 나타내며, 보낸 기준 신호와 돌아온 신호에 대한 평가 신뢰도이다.

[그림 7](a)에서 보여지는 위상특성이 3[kHz] 대역에서 거의 0도에 가깝게 측정되어 훌륭한 위상특성을 나타내고 있다. 또한 메그니튜드(주파수응답 특성)도 원 신호와 거의 유사한 신호임을 확인할 수 있었다.

[그림 7](b)에서 보여지는 코헤런스는 90[%]이상의 높은 신뢰도를 나타내고 있다. 제작한 Y자형 케이블에 의한 잡음과 기기들 간의 연결 상태 및 장비에 의한 잡음, 무향실내의 실험이 아닌 점을 감안할 때 결과적으로 3[kHz]의 음향신호를 훌륭하게 재생하고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 광 마이크로폰과 원신호의 특성 분석
(a) Phase, Magnitude, (b) Coherence

다음으로 음향신호의 크기를 일정하게 유지하고 주파수만을 변화시켜가면서 광 마이크로폰의 출력을 측정 한 결과가 [그림 8]에 나타나 있다. 여기서 1[Pa]의 음압이 인가되었을 때, 광 마이크로폰의 출력 전압이 1[V]인 경우를 0[dB]로 기준을 설정하여 나타낸 그래프이다.

[그림 8]로부터 3[kHz]까지 약 ±3[dB]변화 이내에서 출력이 거의 일정하였으며, 콘덴서 마이크로폰과 거의 유사한 출력특성을 볼 수 있다. 따라서 제안하는 광 마이크로폰의 대역폭은 300[Hz]-3[kHz] 이다.

4[kHz] 주파수 근처에서 출력이 급격하게 감소하는 현상이 나타나는데, 이것은 진동판의 고유 진동(natural resonance)에 의한 것으로 사료된다[10]. 고유 진동은 진동체의 기준이 되는 진동으로, 진동체에 물리량(음압)을 줬을 때, 그 진동체가 갖는 특정 진동수를 말하며, 고유 진동에 영향을 미치는 요소로는 진동체의 길이, 면적, 밀도 등이 있다.

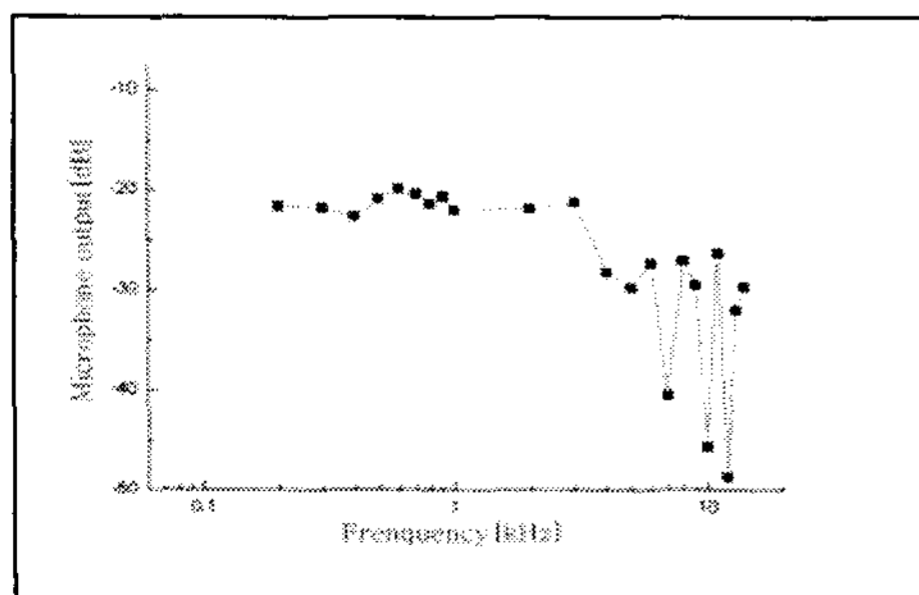


그림 8. 광 마이크로폰의 측정 대역폭

고유 진동에 의한 영향을 배제하고 동작 주파수 대역을 향상시키기 위해서는 진동판의 크기와 반사판의 크기를 좀 더 작게 하여 고유진동 주파수를 높여 가청 주파수 대역인 20[Hz]-20[kHz]를 벗어나도록 해야 한다. 또한 좀 더 정확한 측정을 위해서는 무향실 내에서 외부잡음을 배제한 음향 신호 측정이 이루어 져야 한다.

III. 결론

본 논문에서는 저가의 수·발광 소자를 이용하여 광 마이크로폰을 구현하였다. 사용된 진동판은 음향신호에 비례하여 전, 후로 움직인다. 음향신호의 인가 및 측정은 컴퓨터 기반의 음향 측정/분석 프로그램인 Smart Live 및 Oscilloscope, Spectrum analyzer를 사용하였고, 주파수를 변화 시켜가며 광 마이크로폰의 주파수 응답특성을 실험하였다.

실험결과 Smart Live 및 Oscilloscope에서 [그림 5] [그림 7]에서 보는바와 같이 주파수 3[kHz], 1[Pa]의 음압을 인가한 경우 광 마이크로폰의 측정값이 콘덴서 마이크로폰과 원신호의 측정값과 거의 동일하게 얻어짐을 확인할 수 있었다. 또한 3[kHz] 대역에서 비교 콘덴서마이크로폰보다 더 높은 감도를 나타내고 있으며, 기들 간의 연결에 따른 잡음과 무향실 내에서의 측정이 이루어 지지 않았기 때문에 외부잡음에 대한 영향은 배제하였다.

제안된 광 마이크로폰의 음향신호 측정 주파수 대역폭은 300[Hz]-3[kHz]이고, 이는 진동판과 반사판의 크기를 줄여 고유진동 주파수를 높게 하면 주파수 대역폭을 향상시킬 수 있을 것이라고 사료된다.

참고 문헌

- [1] H. S. Kwan, K. W. Kim, J. K. Kim, and W. S. Che, "Optical Path Analysis and Experiments for Optical Microphone," Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.13,

No.3, pp.210-217, 2007(3).

[2] H. S. Kwan and K. W. Kim, "Design and Characterization of Fiber Optical Coupler for Acoustic and Vibration Measurements," Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.16, No.9, pp.971-981, 2006.

[3] J. H. Song and S. S. Lee, "Optical Microphone Based on a Reflective Micromirror Diaphragm," Hangeul Kwang hak Hoeji, Vol.17, No.4, pp.366-370, 2006(8).

[4] Y. Kahana, A. Parisky, A. Kots, and S. Mican, "Recent advances in optical microphone technology," Inter-Noise, Juju, Korea, pp.1158-1169, 2003(8).

[5] A Phone-Or White Paper, "Microphone for speech recognition application," Phone-Or Ltd, 2001.

[6] K. Kadirvel, R. Taylor, S. Horowitz, L. Hunt, M. Sheplak, and T. Nishida, "Design and characterization of MEMS optical microphone for aeroacoustic measurement," 42nd Aerospace Science Meeting & Exhibit, AIAA, pp.2004-1030, 2004.

[7] N. Bilaniuk, "Optical microphone transduction techniques," Applied Acoustics, Vol.50, No.1, pp.35-63, 1997.

[8] K. Nakamura, S. Toda, and M. Yamanouchi, "A two-dimensional optical fiber microphone array with matrix-style data readout," Meas. Sci. Technol., Vol.12, pp.859-864, 2001.

[9] H. Sagberg, A. Sudbo, O. Solgaard, K. Anne, H. Bakke, and I. Johansen, "Optical microphone based on a modulated diffractive lens," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.15, No.10, pp.1431-1433, 2004.

[10] N. Furstenu, H. Horack, and W. Schmidt, "Extrinsic Fabry-Perot interferometer fiber-optic microphone," IEEE Trans. Instrumentation

and Measurement, Vol.47, No.1, pp.138-142, 1998.

[11] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, Fundamentals of Photonics, New York: Wiley, pp.80-107, 1991,

저자 소개

염경태(Keong-Tae Yeom)

준회원



- 2007년 2월 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부(공학사)
- 2007년 ~ 현재 : 원광대학교 전자재료 학과(석사과정)
- <관심분야> : 콘텐츠 제작기술, 전력선 통신, 음향 시스템

김관규(Kwan-Kyu Kim)

준회원



- 2007년 2월 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부(공학사)
- 2007년 ~ 현재 : 원광대학교 전자재료 학과(석사과정)
- <관심분야> : 정보통신시스템기술, 전력선통신

허도근(Do-Geun Huh)

정회원



- 1975년 2월 : 울산대학교 전자공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학박사)
- 1980년 2월 ~ 현재 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수
- <관심분야> : 정보통신시스템기술, 광통신 시스템

김 용 갑(Yong-Kab Kim)

정회원



- 1988년 2월 : 아주대학교 전자공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 알라바마 주립대학교(공학석사)
- 2000년 2월 : 노스캐롤라이나 주립대(공학박사)

▪ 2003년 ~ 현재 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

▪ 2006년 ~ 현재 : 원광대학교 Post-BK21 사업단 (팀) 장

<관심분야> : 콘텐츠 제작 기술, 정보통신시스템 기술, 광통신 시스템, 전력선 통신