

보청기 성능 향상을 위한 적외선 통신 모듈

(An Infrared Communication Module for the Enhancement of Hearing Aids)

박성모*

(Seong Mo Park)

요약

본 논문은 주변 소음이 많은 환경에서 보청기 수신 성능 향상을 위하여 적외선을 이용한 광통신 기술을 접목시키는 연구이다. 마이크로폰과 적외선 발광 다이오드를 포함하는 송신 모듈에서 음성신호를 적외선 광 신호로 변환시켜 공기 중에 내보내고, 일정 거리 떨어진 곳에 위치한 수신 모듈에서 적외선 신호를 수신하여 전기 신호로 변환하여 디지털 보청기의 입력 단에 전달한다. 특별히 수신 모듈은 보청기에 부착되어야 하므로 소형이며 저전압이고 저전력 소모가 바람직하다. 디지털 변조 방식과 아날로그 무변조 방식의 적외선 통신 기술을 적용하여 실험한 결과 실내에서 약 5미터 거리의 적외선 통신은 아날로그 무변조 방식이 적합함을 보였다. 송신 모듈과 수신 모듈 시제품을 제작하여 디지털 보청기에 연결하고 내부 파라미터를 조정하여 음성 신호를 정상 송수신함을 확인하였다.

■ 중심어 : 보청기 ; 적외선 통신 ; 발광 다이오드 ; 포토 다이오드 ; 마이크로폰

Abstract

This paper presents a study on adapting optical communication technology using infrared ray for the enhancement of hearing aids in noisy environment. The transmitter module containing microphone and infrared ray-emitting diode converts audio signal to infrared optical signal and sends it out in the air. The receiver module located in a distance receives the infrared signal, converts it to electrical signal, and transfers it to an input of a digital hearing aid. Especially, the receiver module needs to be small, low voltage, and consume low power since it will be attached to hearing aids. Experiments with applying infrared communication technology of digital modulation method and analog non-modulation method show that the analog non-modulation method is adequate for infrared communication of approximately 5m distance indoor. Prototypes of transmitter module and receiver module were manufactured, and internal parameters of the digital hearing aid were adjusted to confirm normal transmit-receive operation of audio signals.

■ keywords : Hearing aids ; Infrared communication ; Light Emitting Diode ; Photo Diode ; Microphone

I. 서론

최근 들어 노령화에 따른 노인성 난청과 이어폰 사용에 따른 소음성 난청 등으로 불편함을 겪는 사람들이 점점 늘어나고 있다. 난청 증상이 심해진다면 보청기를 사용하여 청력 손실을 보완해줄 필요가 있다. 보청기는 기본적으로 음향을 증폭시켜주는 장치이며 보청기에 전력을 공급하는 소형 배터리, 음향을 수신하여 전기 신호로 바꾸어주는 마이크로폰, 신호 증폭기와 증폭된 신호를 음파로 내보내는 스피커 등으로 구성된다. 보청 기능의 핵심적인 요건은 다양한 상황에서 말소리를 듣고 이해하는데 도움이 되는 지에 따라 좌우된다[1].

요즈음 일반화된 디지털 보청기는 난청자의 청력을 주파수 대역별로 효과적으로 보완하기 위해 디지털 신호처리 프로세서를 포함하고 있다. 디지털 보청기는 다양한 신호처리 기술을 통해 난청자의 난청 정도에 맞게 소리를 증폭하고 잡음을 제거하는 기술을 바탕으로 설계가 되어 있다[2].

그러나 잡음이 포함된 환경에서 음성과 잡음을 구별하여 적절하게 필터링하는 기술은 한계가 있으며 보청기 기기에서 음성과 잡음이 구별되지 못하고 함께 증폭되는 문제가 제기되어 왔다. 이러한 환경에서 효과적으로 잡음을 필터링하기 위해서는 입력 신호에서의 잡음의 유입을 최대한 줄이는 방법을 고안하는 것이 효율적인 대안이 될 수 있다.

잡음의 유입을 최대한 줄이는 방법으로 고안되는 여러 기술

* 종신회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부

들 중에서 최근 적외선 통신이 주목 받고 있다. 적외선 통신에 쓰이는 LED는 소비 전력이 적고 부품의 가격이 저렴하며, 전파가 아닌 빛을 사용하기 때문에 주파수에 대한 간섭이나 전자파 장애가 없고 PWM(Pulse Width Modulation), PDM(Pulse Density Modulation) 등의 광통신 기술을 사용할 수 있다.

본 논문에서는 기존 디지털 보청기에 연결하여 사용하는 보조 기구를 통한 성능 개선을 위하여 적외선 광통신 모듈을 제안한다. 실내와 같은 한정된 공간에서 소음이 존재하는 경우 잡음과 음성을 구분하기 힘든 상황임에 착안하여, 말하는 사람의 음성 신호를 일정한 거리 떨어져 있는 청중에게 효과적으로 전달하기 위해 적외선 송수신 기술을 적용한다. 송신 모듈에서 마이크로폰 신호를 증폭하고 적외선 광 신호로 변환하여 송신하고, 일정거리 떨어진 위치에서 수신 모듈이 적외선 광 신호를 수신하여 청중의 보청기로 전달하여 주변 소음과 전자파 잡음의 영향을 최소화하는 광통신 방식이다. 디지털 마이크로폰을 사용하는 디지털 변조 방식의 적외선 통신 방법과 아날로그 마이크로폰을 사용하는 무변조 적외선 통신 방법이 가능하다. 송수신 모듈을 디지털 방식과 아날로그 방식에 맞게 설계하여 그 실효성을 검토하고, 아날로그 송수신 모듈의 시제품을 제작하여 동작 여부를 확인하도록 한다.

II. 본 론

1. 보청 기능 향상을 위한 다양한 보조 기구

보청기 사용자들에게 말소리를 듣고 이해하는 데 도움을 주기 위해서는 음향을 증폭시키는 보청기의 기본 기능을 보완하여 다양한 환경에서 시너지 효과를 낼 수 있는 보조 기구의 사용이 필요하다. 이에 따라 보청 기능이 있는 유선 전화기, 골전도 전화기, 골전도 이어폰, 스마트폰 전용 보청 이어폰, MP3 기능을 지원하는 보청기 등을 개발하여 사용하고 있다. 이러한 시도들로 인하여 가전, 군사, 의료, 보안, 산업 등에서 다양한 구조와 용도로 보청기의 기술이 응용되어지고 있다. 최근에는 블루투스 기술을 이용해 보청기와 스마트폰을 연동한 스마트 보청기가 개발되어 스마트폰 어플리케이션을 통해 보청기의 음량과 주파수 등을 사용자가 원하는 대로 조절할 수 있게 발전하고 있다.

이렇게 보청기 단말 자체에 보조 기구를 사용하는 경우뿐만 아니라 네트워크 시스템을 사용하는 사례도 존재한다. 대표적인 기술로 텔레코일(Telecoil)을 지원하는 보청기를 이용하는 Loop System과, FM System이 있다.

Loop system의 동작 방식은 다음과 같다. 그림 1과 같이 일정 공간 안에서 사회자가 마이크를 통하여 이야기를 전달하면 Loop 증폭기(Amplifier)에서 신호가 변환되어 Induction Loop

가 설치되어 있는 공간에 데이터 정보가 송신된다. 송신된 신호는 텔레코일이 포함된 보청기로 수신이 가능하고 증폭 조절이 되어 소리를 들려주게 된다[3]. 이러한 방식은 교회와 같이 한정된 공간에서 말하는 사람과 청중 간의 거리가 멀고 소음이 발생하는 경우에 쓰이고 있다. Loop System이 설치된 공간이라면 마이크로폰의 위치는 보청기 사용자가 듣고자 하는 위치에 제약이 없이 둘 수 있다는 장점이 있지만, Induction Loop 내부라는 한정된 공간에서 송수신이 이루어진다는 단점이 있다.

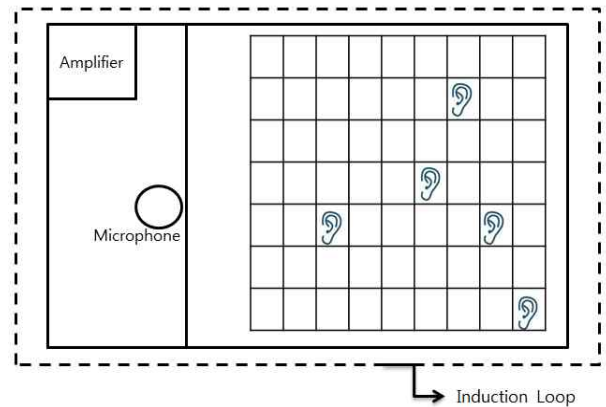


그림 1. Loop System의 구조

이러한 Loop system의 단점을 보완하여 특수 제작된 공간이라는 제약을 벗어난 시스템인 FM System이 널리 응용되고 있다. 이 방식은 교육, 문화적인 공간에서 응용이 되는데 이는 말하는 자가 송신기를 가지고 신호를 전송을 하고, 청중이 수신기를 통하여 신호를 수신 받는 구조로 되어 있다. FM 라디오를 듣는 것처럼 주파수 채널을 맞추어서 신호가 전송되는 원리이기 때문에 영화관과 같은 공간에서 사용 되는 경우 보다 선명한 음향을 전해들을 수 있다. 또한 소음이 많이 발생하는 수업 시간에 교사와 학생들이 FM system 방식을 사용하면 학생들의 집중도를 더욱 끌어올리는 효과를 기대할 수도 있다[4]. 다만 주파수 방식을 사용하기 때문에 전파법과 전파규약을 고려해야 하며 이러한 환경적 규범 때문에 사용 가능한 주파수의 폭이 매우 좁다. 따라서 이러한 방식의 보조 시스템이 규제 없이 사용되기 위해서는 FM 방식을 대체할 수 있는 통신 방식이 필요하다.

2. 무선 광통신을 이용한 보청기 보조 기구

무선 광통신 기술은 RF 주파수 대역을 사용하는 전자파 무선 통신과는 달리 빛을 이용하는 특정 주파수 대역을 사용하기 때문에 기존의 무선 통신 기술에 의한 주파수 간섭이 없다는 장점을 가지고 있다. 또한, 무선 광통신은 빛의 특성상 물리적으로 차단이 되면 정보가 차단이 되기 때문에 정보에 대한 보안성이

높고, 병원과 같이 전자파 간섭이 중요한 기기들이 상존하는 환경이나 비행기와 같은 특수 환경에서 실내 근거리 통신에 적용이 용이하다.

무선 광통신에 사용되는 소자인 LED(Light Emitting Diode)는 사용되는 파장에 따라 IRED(Infrared Emitting Diode)와 VLED(Visible Light Emitting Diode)로 구분한다. 무선 광통신을 위한 송신 제어부에서는 LED가 빠르게 깜빡이면 눈으로 인식을 못한다는 점을 이용하여 광선을 점멸시켜 정보를 보낸다. 수신 제어부에서는 이를 감지하기 위하여 포토다이오드(Photo Diode)를 사용하며 수신기에 수신되는 빛의 세기에 따라 영향을 미치게 되는 범위가 달라진다. LED 소자가 같은 양의 전력을 소비하더라도 통신 시스템 구조를 어떻게 설계하는 지에 따라 성능 결과가 달라질 수 있고, 송신기와 수신기가 LOS(Line of Sight) 환경에 있어서 LED의 송신 각도와 포토 다이오드의 수신 각도가 중첩되어야 안정적으로 통신 성능을 지원할 수 있다[5].

적외선 무선 통신은 주로 TV, 오디오, 에어컨 등 가전제품의 리모컨에 사용되는 기술로 현재 컴퓨터와 이동 단말장치 인터페이스에 사용되며 한정된 거리에서 데이터 통신과 음성 통신도 가능하다. 적외선 통신에서 송신부는 정보를 전달할 때 외부 빛이나 잡음으로부터 영향을 덜 받도록 신호를 변조하여 전송하는데 보통 리모컨에서는 38KHz로 변조한다.

가시광 무선 통신은 조명과 동시에 무선 통신도 가능한 기술로 LED 조명 인프라를 이용하여 무선 통신 환경을 구축할 수 있다. 광 효율이 높고 친환경적인 LED 조명 산업 육성은 세계적인 추세이며[6], 최근에 LED 조명이 확산되면서 신호검출 전자회로를 기반으로 손동작으로 LED 조명을 제어하는 시스템을 구현하는 연구도 진행되고 있다[7]. LED 조명이 다양한 곳에 사용되므로 가로등, 실내등을 통한 인간 중심의 무선 통신 서비스뿐만 아니라 자동차와 신호등 간의 무선통신, 선박과 등대 간의 무선 통신 등 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 비교적 새로운 기술로 해결해야 할 과제가 많고 조명과 통신을 융합하는 새로운 서비스 개발이 활발하게 이루어질 것이다[8].

불특정한 잡음이 많이 발생할 수 있는 실내의 공간에서 세미나 또는 강의를 듣는 상황과 같이 특정인이 난청자들에게 정보를 전달하는 경우 무선 광통신의 특성을 이용하면 디지털 보청기에 연결하여 사용할 수 있는 저가형 보청기 보조 기구의 설계가 가능하다. 보청기는 소형 배터리를 사용하고 귀에 부착하여 사용되는 특성 때문에 보청기에 연결하여 동작할 보조 기구의 수신 모듈에는 저전력 저전압의 제한이 따른다. 제안하는 보조 기구는 마이크로폰과 적외선 발광 다이오드를 사용하는 송신 모듈과 포토 다이오드를 사용하는 수신 모듈로 구성된다. 디지털 보청기에 적용함을 고려하여 송신 모듈에서 디지털 마이크로폰을 사용하는 경우와 아날로그 마이크로폰을 사용하는 경우

의 동작 특성을 비교 검토한다.

3. 적외선 통신 모듈 설계

가. 디지털 마이크로폰을 사용한 송수신 모듈

디지털 마이크로폰에서 발생하는 PDM 신호의 주파수는 1MHz이어서 빠른 속도 특성을 가진 적외선 발광 다이오드(IRED)가 필요하다. IRED는 더 멀리 송신이 가능하도록 정격 전압에 비해 빛의 밝기(Intensity)가 높은 다이오드를 사용하고, 디지털 방식의 수신 모듈용 포토 다이오드는 상승/하강 시간이 짧아 빠른 주파수를 지원하는 소자를 사용한다.

본 논문에서는 실내 5미터 거리에서 적외선 신호를 송수신하는 모듈 설계를 목표로 하였다. 송신 모듈은 디지털 마이크로폰에서 음성 신호를 전기 신호로 바꾸고 트랜지스터를 통하여 적외선 발광 다이오드를 구동하여 적외선 신호를 방출하도록 그림 2와 같은 회로를 구성하였다. 충분한 밝기의 적외선 광 신호를 방출하도록 전원 전압은 9V를 사용하였다.

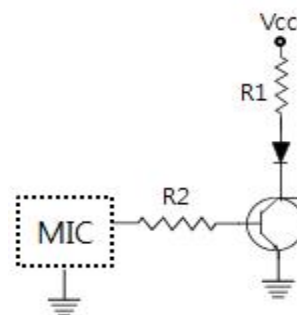


그림 2. 디지털 방식 송신 모듈 회로도

적외선 발광 다이오드가 충분한 밝기로 발광되어도 적외선 광 신호가 높은 주파수로 변조되어 전달될 때 거리의 제곱에 반비례하여 신호가 감쇄된다. 수신 측의 포토 다이오드로 신호를 입력 받을 경우 수신 감도가 높은 소자를 사용하지만 거리에 따른 신호 감쇄가 매우 크기 때문에 신호를 검출하기 위하여 그림 3과 같은 OP amp를 사용한 수신부 증폭 회로를 구성하였다 [9].

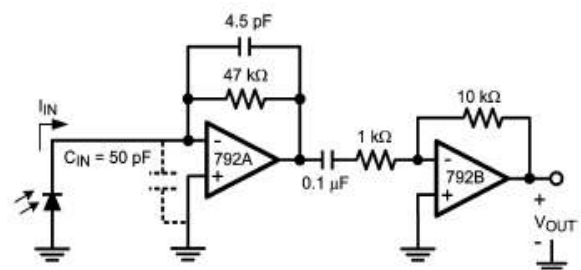


그림 3. 디지털 방식 수신 모듈 회로도

실험 결과 1MHz로 변조된 적외선 신호는 4미터 이내의 거리에서 수신부 모듈에 약한 신호가 잡혔고, 100KHz로 변조할 경우는 5미터 거리에서 수신부 모듈에 확실한 신호가 잡히는 것을 확인할 수 있었으나, 실험을 통해 측정된 디지털 마이크로폰의 PDM 신호는 오실로스코프로는 정확하게 관찰하기 어려웠다.

변복조 과정을 정확히 관찰하고자 매트랩(Matlab)의 시뮬링크(Simulink)를 사용하여 입력 주파수와 샘플링 주기에 따른 송신부의 PDM 신호를 발생시키고, Lowpass 필터를 통하여 아날로그 신호로 복원되는 수신부 신호를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 신호 주기를 100KHz로 하였을 때 디지털 마이크로폰에서 발생하는 송신 신호(자주색)와 시뮬레이션을 수행하여 Lowpass 필터를 통과한 수신 신호(황색)를 그림 4에서 볼 수 있다.

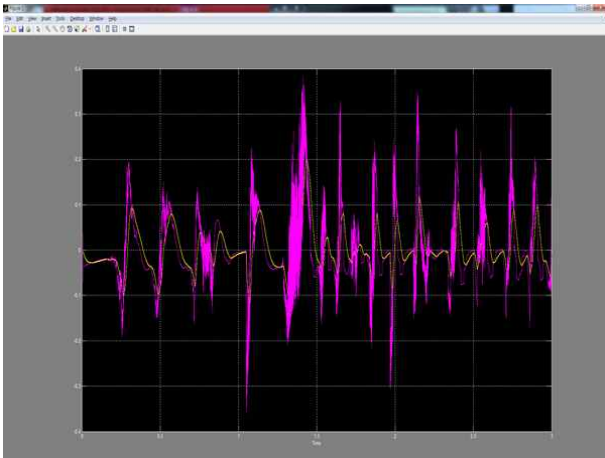


그림 4. 디지털 마이크로폰 회로의 시뮬레이션 결과

그러나 설계된 송수신 모듈의 동작 전압이 각각 9V, 2.5V로 높은 편이고, 거리에 따른 적외선 신호의 감쇄가 심해서 수신 모듈에 OP amp를 사용한 증폭 회로를 필요로 하므로 실제로 보청기에 적용하는 것에는 상당한 제약이 따른다. 따라서 수신부의 회로를 간단히 하고 동작 전압을 보청기에서 사용하는 1.4V로 낮추기 위하여 아날로그 마이크로폰을 이용한 무변조 송수신 모듈을 설계하였다.

나. 아날로그 마이크로폰을 사용한 송수신 모듈

아날로그 마이크로폰은 가청 주파수 영역대의 음성 신호를 발생한다. 송신 모듈에 무변조 방식 구동 회로를 구성하면 적외선 발광 다이오드는 상승/하강 시간이 빠르지 않아도 빛의 밝기(Intensity)가 높은 소자를 사용하면 되고, 아날로그 신호를 수

신하는 포토 다이오드도 동작 주파수는 낮아도 적외선 신호에 민감한 소자를 사용하면 된다.

앞에서 살펴 본 디지털 마이크로폰을 이용한 송신부에서의 동작 전압은 9V였지만, 동작 전압을 3V로 낮추기 위하여 송신부에 그림 5와같이 전압 디바이더 회로를 추가하였고[10], 아날로그 마이크로폰은 증폭 회로를 포함하고 있는 부품을 사용하였다. 수신부는 회로를 최소화하고 보청기에서 사용하는 배터리 1.4V의 전압으로 동작하도록 그림 6과 같이 설계하였다.

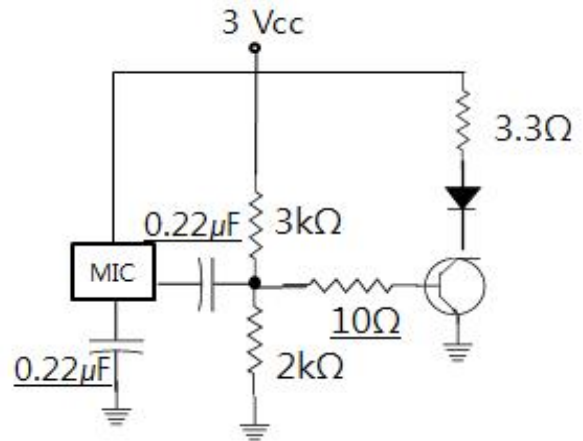


그림 5. 아날로그 방식 송신 모듈 회로도

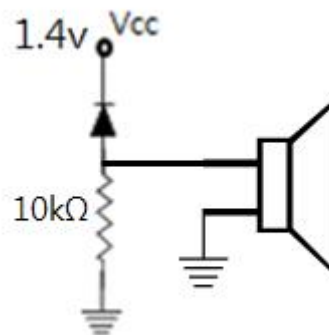


그림 6. 아날로그 방식 수신 모듈 회로도

송신부의 적외선 발광 다이오드에서 발생하는 아날로그 신호에 일그러짐이 거의 없는 회로 조건을 확인하고 광통신 거리를 점차적으로 늘려가면서 포토 다이오드를 통과한 수신부의 신호를 측정된 결과 목표한 5미터 거리에서 수십mV의 양호한 신호를 확인할 수 있었다.

4. 시제품 제작 및 실험결과

디지털 마이크로폰을 사용한 적외선 송수신 방식은 PDM 신호 주파수에 따른 신호 감쇄와 이를 극복하기 위한 수신부 증폭 회로의 복잡성 및 비교적 높은 전원 전압의 문제로 보청기에 적용이 어렵다. 아날로그 마이크로폰을 사용한 무변조 음성 신호

의 적외선 송수신 방식은 수신부 회로가 매우 간단하고 낮은 전압 전압에서도 동작함을 확인하고 아날로그 마이크로폰을 사용한 송수신 모듈의 시제품 제작을 수행하였다.

송신부 회로는 3V 전원 전압을 사용하며 다수의 고효율 적외선 발광 다이오드를 구동하도록 증폭기를 추가하였고, 수신부 회로는 디지털 보청기에 직접 연결하여 보청기용 1.4V 전원 전압을 사용하며 수광 감도가 높은 포토 다이오드를 사용함으로써 실내 5미터 거리에서 깨끗한 적외선 신호를 수신하도록 소자를 선정하였다. 증폭기를 추가한 송신 모듈 회로는 그림 7과 같다.

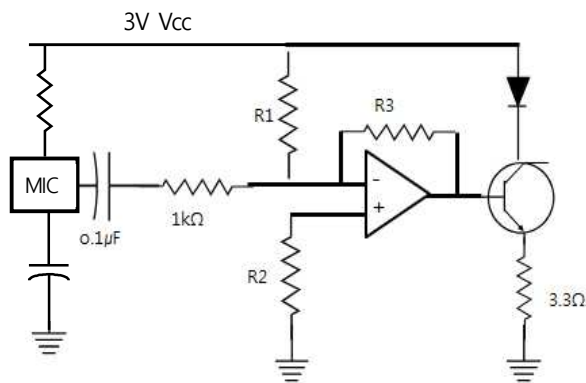


그림 7. 증폭기를 추가한 송신 모듈 회로도

이와 같은 결과를 바탕으로 적외선 발광 다이오드를 이용한 보청기 보조 송수신 모듈 시제품을 보청기 전문업체인 (주)알고코리아의 도움으로 제작하였다[11]. 그림 8에서와 같이 아날로그 송신 모듈은 아날로그 마이크를 사용하고 충분한 밝기의 적외선을 출력하도록 두 개의 적외선 발광 다이오드를 동시에 구동하며 2개의 건전지를 사용하여 3V 전원 전압을 제공한다. 그림 9는 포토 다이오드를 디지털 보청기에 직접 연결하여 제작한 수신 모듈이며 보청기의 1.4V 배터리를 전원으로 사용한다.

실험 결과 송신 모듈에서 송신하는 회로의 신호가 약 0.7Vpp로 관찰되는데 이것은 212mA의 전류에 해당하는 신호로서 발광 다이오드를 구동하기에 충분한 신호이다. 수신 모듈을 통해 5미터 거리에서 수신된 신호의 크기는 50mVpp 정도임을 관찰할 수 있었다. 수신된 신호는 디지털 보청기의 파라미터 조정을 통해 최적화되었고 실제로 시제품이 달린 보청기를 착용하여 5미터 거리에서 깨끗한 음성을 수신함을 확인하였다.

송신 모듈에 사용되는 발광 다이오드는 직진성이 있고 빛의 밝기가 절반이 되는 방사각이 10~20도 정도여서 눈에 보이는 LOS 환경 조건에 5미터 정도의 거리에서는 신호의 수신 범위가 좌우로 1~2미터 정도이다. 보청기를 착용한 상태로 좌우로 움직이면서 시험하여 양호하게 동작함을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 방식은 하나의 송신기에 다수의 수신

기가 무선으로 연결되어 동시에 수신하는 방식이다. 강의실이나 세미나 실 혹은 교회 등에서 말하는 사람과 가까운 위치에 송신 모듈을 고정하여 설치하고, 적외선 신호의 수신이 가능한 한정된 공간에 수신 모듈이 달린 보청기를 착용한 사람들을 배치하여 보조 장치로 운용한다면 저렴한 비용으로 실용화가 가능할 것으로 사료된다.



그림 8. 아날로그 방식 송신 모듈 시제품



그림 9. 아날로그 방식 수신 모듈 시제품

III. 결론

본 논문에서는 보청기 성능 향상을 위한 적외선 통신 모듈 개발을 위하여 디지털 마이크로폰과 아날로그 마이크로폰을 사용한 송수신 모듈을 설계하였다.

디지털 마이크로폰을 사용하는 경우, 송신 모듈은 간단한 회로로 구성되지만 9V 전원 전압을 사용하며 PDM 신호 주파수에 따른 신호 감쇄가 심하여 이를 극복하기 위해 수신 모듈은 복잡한 증폭 회로를 필요로 하였고 비교적 높은 2.5V 전원 전압을 사용한다.

아날로그 마이크로폰을 사용하는 경우, 음성 신호를 무변조로 송수신하면 보청기에 부착하는 수신 모듈의 소자를 최소화하고 보청기 배터리 1.4V 전원 전압을 사용할 수 있다. 송신 모듈에 전압 디바이더 회로와 증폭기를 추가하여 전원 전압을 3V로 낮출 수가 있었다.

각 모듈의 성능 비교를 통하여 아날로그 마이크로폰을 사용한 모듈에서 저전력, 소형화가 더 효율적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 적외선 통신 모듈은 실내 한정된 공간에서 많은 음성 신호들 중 필요한 음성 신호만 정확히 전달받을 수 있다는 특징을 가진다. 이러한 기술은 전파 잡음이나 전파 사용 규제가 없고 보안에 강한 특징을 가지므로 다양한 분야에서 응용이 가능할 것이다.

REFERENCES

- [1] 조진호, 송병섭, 이상훈. "노령인구를 위한 청각 보조기의 연구 동향," *제어로봇시스템학회지*, 제9권, 제5호, 21-27쪽, 2003년 9월
- [2] 이경원, 이정학, "최근 보청기 기술의 동향," *대한청각학회지*, 제8권, 제2호, 98-103쪽, 2004년 12월
- [3] What is an Induction Loop, Hearing Loop, T-Loop or AFIL system? <https://www.ampetronic.co/Hearing-Loop-Basics> (accessed Sep., 5, 2018).
- [4] A reliable FM system for the classroom(2018), <https://www.oticon.global/hearing-aid-users/hearing-aids/accessories/amigo-fm> (accessed Sep., 17, 2018).
- [5] 주대영, "LED 가시광통신의 기술개발 동향," *과학기술정책*, 제20권, 제3호, 63-67쪽, 2010년 9월
- [6] 윤봉식, 조광수, "LED조명등기구 디자인 개발을 위한 형태적 속성 분석에 관한 연구," *스마트미디어저널*, 제5권, 제4호, 103-110쪽, 2016년 12월
- [7] 천우영, 김영철, "주변 전기장 측정센서를 이용한 손동작 신호 검출을 위한 신호처리시스템 연구,"

스마트미디어저널, 제6권, 제2호, 26-32쪽, 2017년 6월

- [8] 정완영, 서용수, 김종진, 권태하, "LED 가시광 통신 시스템과 그 응용," *한국해양정보통신학회논문지*, 제14권, 제6호, 1375-1381쪽, 2010년 6월
- [9] LMV79x 17-MHz, Low-Noise, CMOS Input, 1.8-V Operational Amplifiers With Shut Down (2015), <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmv791.pdf> (accessed Sep., 5, 2018).
- [10] Thomas L. Floyd, *Electronic Devices, Fifth Edition*, Prentice Hall, pp. 242-273, 2001.
- [11] ㈜알고코리아, <http://www.hearing-aids.co.kr> (accessed Sep., 5, 2018).

저자 소개



박성모(중신회원)

1977년 서울대학교 전자공학과 학사
1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1988년 미국 노스캐롤라이나 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 공학박사

1979년~1984년 한국전자기술연구소 설계개발부 선임연구원

1988년~1992년 미국 올드도미니언대학교 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1992년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 멀티미디어 프로세서 구조, SoC 설계, 사물인터넷, 임베디드 시스템>