



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

# LED기반 가시광 무선통신 시스템 및 응용에 관한 연구

A Study on the LED-based  
Visible Light Communication Systems and Its Applications

指導教授 孫慶洛



2013年 2月

韓國海洋大學教 大學院

電子通信工學科  
金連株

工學碩士 學位論文

# LED기반 가시광 무선통신 시스템 및 응용에 관한 연구

A Study on the LED-based  
Visible Light Communication Systems and Its Applications

指導教授 孫慶洛



2013年 2月

韓國海洋大學教 大學院

電子通信工學科  
金連株

本 論文을 金連株의 工學博士 學位論文으로 認准함.

위원장      朴 東 國 인

위 원      金 廷 昌 인

위 원      孫 慶 落 인



韓 國 海 洋 大 學 教 大 學 院

# 목 차

Abstract	iv
1장 서론	1
2장 가시광무선 통신	3
2.1 가시광무선 통신의 개요	3
2.2 가시광무선 통신의 연구동향	7
3장 광무선 통신 시스템	12
3.1 공기 및 수중에서의 통신성능	12
3.2 주파수변조를 이용한 수중 오디오 통신	26
3.2.1 시스템 구성	26
3.2.2 실험 및 결과	31
3.3 광무선기반 정지 화상 전송 시스템	37
3.3.1 시스템 구성	37
3.3.2 실험 및 결과	43
4장 결론	46
참고문헌	48
감사의 글	51

## 그림 목 차

그림 1	p-n 접합 다이오드의 발광특성	3
그림 2	가시광 무선통신의 원리	4
그림 3	가시광 무선통신 파장 대역	5
그림 4	LED 조명을 이용한 가시광 무선 통신의 일반적 구성	6
그림 5	수중 광무선통신 기술	8
그림 6	실험 구성도	12
그림 7	수중 통신 성능 실험 환경	13
그림 8	33개의 WLED와 4개의 포토다이오드로 구성된 광원	13
그림 9	포토다이오드 1개 일 때, 매질별 시간응답특성 실험	16
그림 10	포토다이오드 4개 일 때, 매질별 시간응답특성 실험	17
그림 11	전압 변화에 따른 LED 렌턴의 광량 변화	18
그림 12	3.5V 전압, 포토다이오드 개수 4개 일 때 매질별 통신성능 실험	22
그림 13	3.5V 전압, 포토다이오드 개수 4개 일 때 매질별 통신성능 실험	23
그림 14	3.2V 전압, 포토다이오드 개수 1개 일 때 매질별 통신성능 실험	24
그림 15	3.2V 전압, 포토다이오드 개수 4개 일 때 매질별 통신성능 실험	25
그림 16	수중 오디오 전송을 위한 광무선 송수신 시스템 블록다이어그램	26
그림 17	입력 신호의 세기 변화에 따라 주파수 변조된 출력 파형	27
그림 18	광무선 오디오 송신부	28
그림 19	광무선 오디오 수신부	29
그림 20	SFH213의 방향 특성	30
그림 21	콜리메이터 렌즈를 부착한 LED와 포토다이오드	31
그림 22	음성 전송을 위한 수중 가시광통신 실험 구성	32
그림 23	수중 오디오 통신을 위한 주파수별 시간응답특성	33
그림 24	중심주파수 100Khz로 자유공간에서의 오디오 통신 실험 파형	35
그림 25	중심주파수 100Khz로 수중환경에서의 오디오 통신 실험 파형	36
그림 26	정지화상 전송을 위한 광무선 송수신 시스템 블록 다이어그램	37
그림 27	정지 화상 전송을 위한 카메라(SCAM-30)	39
그림 28	이미지 캡처를 위한 데이터 통신 블록 다이어그램	39

그림 29	이미지 캡처를 위한 카메라 제어 프로그램(LabView)	40
그림 30	카메라 제어를 위한 컴퓨터 부분 송수신 회로도	42
그림 31	정지화상 캡처 및 전송을 위한 카메라 부분 송수신 회로도	42
그림 32	이미지 캡처를 위한 데이터 통신 신호 파형	44
그림 33	JPEG 데이터 수신 신호 및 Stop 신호 파형	44
그림 34	정지화상 전송 결과	45



## 표 목 차

표 1 음파, 전파, 광파를 이용한 수중통신의 특성

9



# A Study on the LED-based Visible Light Communication Systems and Its Applications.

Yeon Joo Kim

Department of Electronics and Communications Engineering  
*Graduate School of*  
*Korea Maritime University*

## Abstract

Recently, the lighting technology is developed due to development of LED. The use of LED is such as LED traffic lights, LED TV, all around us, expanding the scope and demand is impossibly increasing. LED is semiconductor, which is the advantage as the digital modulation and digital switching device with low power consumption, and has fast response characteristics over hundreds of KHz so very easy to control. Therefore LED is possible speed of switching that people not be able to detect a flicker of light. These features, LED lighting, as well as communication can be utilized as a light source. Visible-light wireless communication technology, LED lighting devices that combines wireless communications capabilities, uses LED lights as the light source for wireless communications. Visible-light wireless communication technology, lighting and communication is convergence technology that can be used at the same time. LED-based visible-light wireless communication technology developments very likely that you want to use for this research is actively underway, visible light wireless communication efforts are being tried.

In this paper, we regard to the possibility of the development of wireless communication technology. We apply convergence LED lighting technology and communication technology that we implemented visible-light communication system using LED lights. We design a frequency modulation-based optical wireless audio transmission system. The CD4046B phase-locked loop device is applied to implement the frequency modulation and demodulation. And, we design a optical wireless communications system for image transmission. The SCAM-30 camera is a device for image capture and we use a LabView program to control the camera.



## 제 1 장 서 론

인류가 불을 사용하기 시작한지 수만년이 지난 후 백열등의 발명은 인류 역사에 큰 변화를 일으켰다. 인류 조명 역사의 시작인 백열등이 발명된 지 100여년이 지난 오늘날 또 한 번의 변혁을 예고하고 있다. 바로 형광등과 백열등의 조명이 반도체 LED(Light Emitting Diode) 조명으로 교체되는 시점에 있는 것이다[1]. LED는 조명뿐만 아니라 LED 신호등, LED TV, LED 플래시 LED 전광판 등과 같이 우리 주변의 LED 사용범위의 확대와 수요는 예측이 불가능할 정도로 급속하게 증가하고 있다. LED가 주목 받고 있는 또 다른 이유는 LED가 반도체이기 때문에 메모리 또는 프로세서 반도체처럼 디지털 제어가 가능해 응용 영역이 넓다는 점이다[2]. LED는 디지털 변조가 가능하며 저 전력으로 스위칭 되는 디지털 소자로서, 수백 Khz 이상의 빠른 응답특성을 가져 사람이 빛의 깜빡임을 감지하지 못할 정도의 속도로 스위칭이 가능하다. 이러한 특징은 LED를 조명뿐만 아니라 통신용 광원으로 활용할 수 있다는 것을 보여준다. 특히, LED 조명에 통신기술을 융합하여 조명과 동시에 LED를 무선 통신용 광원으로 사용하는 가시광무선통신 융합 기술은 이러한 LED의 디지털 제어 특성을 잘 활용할 수 있는 대표적인 예라고 할 수 있다[3].

가시광무선통신은 2003년에 일본의 Casio, Toshiba, Sony, NEC, SHARP 등의 업체가 참여하여 가시광무선통신 컨소시엄이 구성된 후 시작하였다. 유럽의 독일, 프랑스, 영국 등은 약 2005년부터 시작하였으며, 유럽의 경우 2008년 옥스퍼드 대학과 프랑스 텔레콤을 중심으로 기가비트 서비스를 위한 OMEGA 프로젝트를 진행하면서 Mbps급의 실내 가시광 통신 연구 결과를 발표하였다. 미국은 2007년 이후 국가 프로젝트의 일환으로 보스턴 대학에 Smart lighting center를 유치하였고, UC Riverside에는 UC-Light center를 유치하여 관련 연구개발에 참여하기 시작하였으며, 2009년과 2010년에 국내의 기업과 학교에서 동시

다발적으로 참여하기 시작하였다[4],[5]. 현재 국내는 TTA 가시광통신서비스 실무반이 2007년에 시작하여 한국 광 기술원, 삼성 광통신과 ETRI 등 기업과 학교에서 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 가시광무선통신을 활용하고자 하는 노력이 시도되고 있다[6]. 가시광무선통신기술은 그 연구가 곳곳에서 진행되고 있으며 기술의 표준화 또한 현재 진행되고 있으므로 기술 개발에 따른 미래 가치가 매우 크다고 볼 수 있다[7].

본 논문에서도 위와 같이 융합기술시대의 가시광무선통신 기술의 발전 가능성에 가치를 두고 LED 조명기술과 통신기술을 융합하여 LED 조명을 이용한 가시광통신 시스템을 구축하고 실험하였다. 첫 번째로는 LED변조 특성과 PD 응답 특성에 따른 공기 및 수중 통신 환경을 비교하는 실험을 하였다. 또한, 수중 광 오디오 전송을 위해 아날로그 변복조 방식을 사용하여 단방향 광무선 통신 시스템을 구성하여 오디오 전송이 성공적으로 이루어짐을 확인하였다. 수중 오디오 통신 시스템을 위해서 CD4046B의 전압 제어 발진기와 위상 잠김 루프를 이용하여 주파수 변조 방식을 적용 하였다. 두 번째 실험에서는, 정지된 화상을 전송하기 위해 양방향 광무선 통신시스템을 구성하여 성공적으로 이미지 전송이 이루어짐을 확인하였다. 정지된 화상 전송을 위한 카메라는 SCAM-30을 사용하였고 LabView 프로그램을 적용하여 카메라를 제어하는데 사용하였다. 본 논문에서 보여주는 정지 화상 전송 시스템은 가시광 통신 시스템이 데이터 량이 적은 문자 전송과 오디오 통신 시스템 보다 향상되어 이미지 전송, 나아가 동영상과 같은 대용량 데이터 전송이 가능함을 보여주고 있다. 실험을 위해 송신 시스템에서는 일반적으로 시판되는 White LED(WLED)와 LED랜턴을 사용하였으며 수신을 위한 광 검출기는 공통적으로 SFH213(OSRAM)을 사용하여 제작하였다.

## 제 2 장 가시광무선통신

### 2.1 가시광무선통신의 개요

그림 1과 같이 LED는 p형-n형 반도체를 접합한 다이오드에 순방향 전압을 걸 때 접합부분에서 정공과 전자가 결합하면서 페르미 레벨의 차이만큼 에너지가 빛 에너지로 변환되면서 발광하게 되는 발광소자이다[8]. LED 조명은 LED의 특징인 전기를 빛으로 바꾸는 성질을 이용하여 조명으로 활용하며, 백열전구에 비해 우수한 에너지 효율을 가지며 이산화탄소 배출 저감 효과와 기존 형광등에서 검출되는 납과 수은등 금속을 사용하지 않아 친환경적인 조명이다[9]. LED의 발전으로 인해 LED 조명은 기존의 형광등에 비하여 4~5 배의 긴 수명인 40,000 시간 이상의 수명을 가지고 있으며 저 전력으로 다양한 색을 구현할 수 있고, 최소 30% 이상의 에너지 절감효과를 기대할 수 있게 되었다.

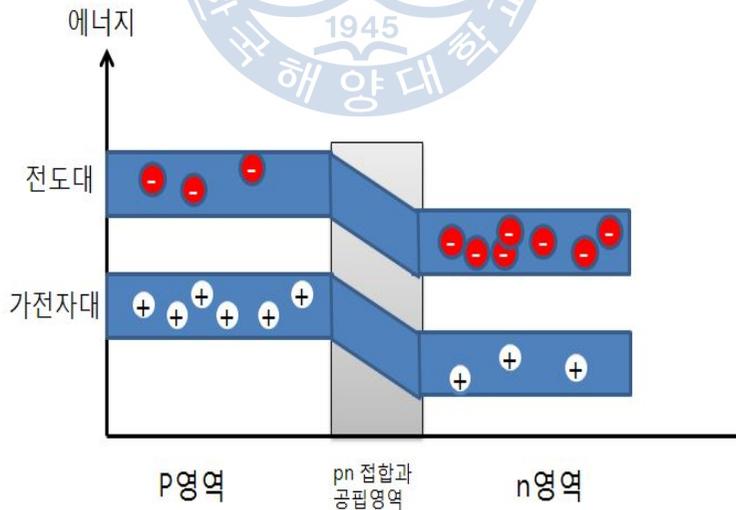


그림 1. p-n 접합 다이오드의 발광특성.

그러나 가격에서는 기존 조명이 아직까지 10배 이상 저렴하여 LED 조명 보급이 활발하지 못한 실정이다[10]. LED의 또 다른 원천적인 특징은 저 전력으로 스위칭 되는 디지털 소자이며 수백 Khz 이상의 빠른 응답특성을 보인다는 것이다. 또한, LED가 전기를 빛으로 바꾸는 성질을 이용하여 나노미터 단위로 빛의 방출을 하고, 이것을 제어하여 원리를 이용하여 통신을 하게 된다. 이러한 특징은 LED를 조명뿐만 아니라 통신용 광원으로 활용할 수 있음을 보여준다. 가시광무선통신은 그림 2와 같이 LED 스위칭을 이용하여 정보를 전송하고, 광 검출기(Photo Diode : PD)에서 빛을 수신하여 정보로 이용하는 것을 기본 원리로 조명기능을 수행함과 동시에 통신기능을 수행하는 새로운 융합통신기술이다. 그 파장은 그림 3과 같이 780nm에서 380nm의 영역에서 사용하며, 800-900nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만 적외선 영역과 달리 조명과 동시에 통신 할 수 있는 특징이 있다[11].

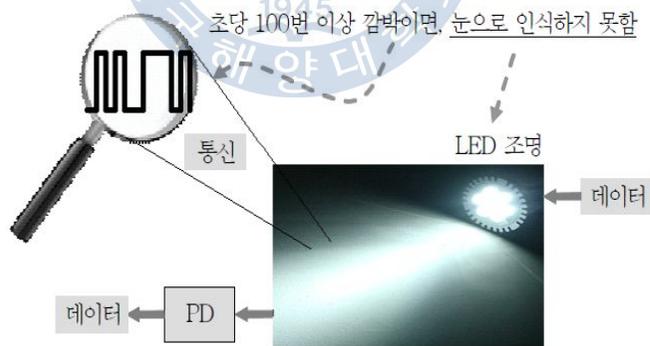
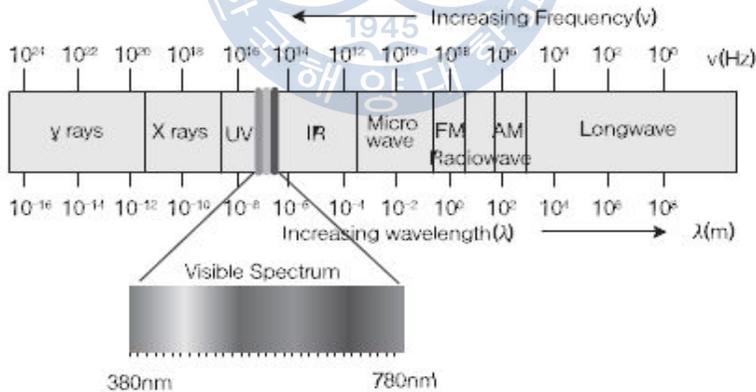


그림 2. 가시광 무선통신의 원리

가시광무선통신 기술에 사용되는 광 검출기(PD : Photo diode)는 LED와 유사하게 생겼으나 반대의 기능을 한다. LED는 전기에너지를 빛에너지로 전환 하지만 광 검출기는 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기능을 가지고 있다 [12],[13]. 포토다이오드는 응답속도가 빠르고, 감도 과장이 넓으며, 광전류의 직진성이 양호하다는 특징이 있다. 주로 CD 플레이어나 화재경보기, 텔레비전의 리모컨 수신부와 같은 전자제품 소자에 사용되며, 빛의 세기를 정확하게 측정하기 위하여 활용되기도 한다. 그래서 가시광무선통신 기술에서도 광 검출기는 수신부에 사용하여 통신을 가능하게 한다. 그림 4는 가시광무선통신의 일반적인 구성에 대한 예시를 나타내고 있다. 가시광무선통신을 하기 위해서는 LED를 제어하기 위한 구동회로를 갖고 있어야 하며 변조된 통신 신호가 LED 조명을 통해 전송되면 LED 조명으로부터 빛과 함께 정보가 전송되어 통신의 기능을 수행하게 된다.



〈가시광 무선통신 파장 대역〉

그림 3. 가시광 무선통신 파장 대역

가시광무선통신기술은 가시광 LED와 통신기술의 융합으로 이루어진 융합기술이라는 가장 큰 장점이 있으며 인간의 눈으로 확인할 수 있는 영역에서 통신을 수행하므로 통신여부를 눈으로 확인할 수 있어 전송 가능 범위를 인지하므로 물리적 보안성이 높다. 또한 인체 유해 논란이 있는 전자파와는 달리 물 분자 반응성이 없는 인체에 무해한 기술 이므로 병원, 원자력 발전소 등의 활용 영역을 넓힐 수 있다[14]. 현재 국내뿐만 아니라 세계적으로도 한정된 주파수 자원으로 인해 희소성이 가중되어 기존 통신은 주파수 대역의 사용 허가가 필요하나 가시광무선통신은 무선 주파수의 비 허가 사용이 가능하여 통신의 혼선이 야기 되지 않는 특징을 가지고 있다. 또한 통신 수단으로 사용되는 LED 조명은 기존 조명인 실내조명뿐만 아니라 자동차, 선박, 가로등, 전광판, TV 등 다양한 곳에 사용되므로, 다양한 응용 영역으로 확대하여 자동차간 통신, 자동차와 신호등간의 교통안전 정보 수신, 등대와 선박 간 통신, 초고속 센서 서비스 등을 제공할 수 있다[15],[16]. 이러한 조명 인프라를 이용하여 통신 환경을 조성한다면 경제적 이득 효과, 멀티미디어 통신 서비스의 확대, 실생활 조명과 함께하는 통신 세계가 열린다고 볼 수 있다.

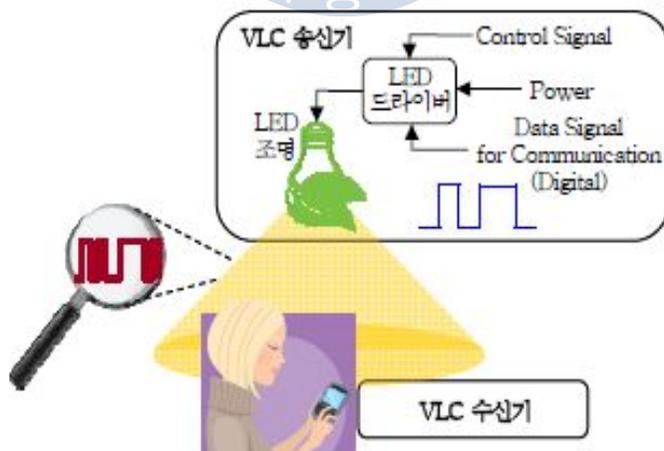


그림 4. LED 조명을 이용한 가시광무선통신의 일반적 구성[10]

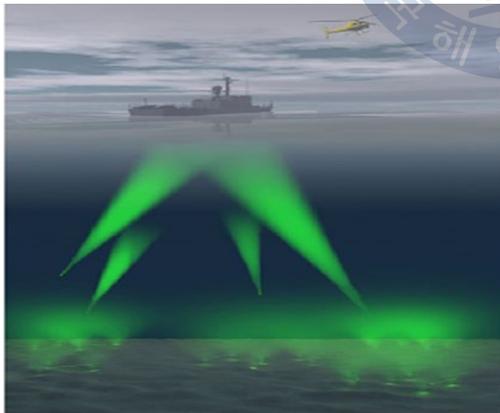
## 2.2 광무선 통신의 연구동향

국내의 국책연구소의 가시광무선통신 기술 개발 및 연구 진행 상황을 살펴보면 KOPTI(한국 광 기술원)는 2005년 말 유비쿼터스에 대한 기술로서 가시광무선통신에 대한 관심을 가져 2005년 중반부터 지식경제부에서 White LED를 이용한 광통신 기술 개발 과제를 수행하였고, 2007년 중반부터 LED 가로등과 가시광무선통신을 결합한 지능형 가로등의 연구개발을 수행하였다. ETRI(한국전자통신연구원)는 유무선광전송기술에 대한 기술력연구로 기술 개발과 검증을 진행하고 있으며 가시광무선통신을 하기 위한 소자 및 모듈 등 응용 시스템의 연구개발을 진행하고 있다. 국내 산업계를 살펴보면 삼성 전자에서는 선행 연구인 미래 기술 개발 및 연구로 가시광무선 통신에 대해 연구 개발을 진행하고 있다. 2006년 근거리 통신 분야인 멀티미디어 기기 간의 Point-to-point 분야를 연구개발을 하였으며, 실내의 LED 조명을 이용한 근거리 LAN 분야의 가시광무선통신기술을 연구개발 하고 있다. 국내학계인 KAIST는 2006년부터 다중접속 MAC Algorithm을 개발하며 가시광무선통신 분야에 대한 연구가 진행 중이다. 서강대에서는 자유공간 광통신기술과 무선적외선 통신기술을 바탕으로 가시광무선통신 적용 연구를 추진하고 있다.

가시광무선통신은 국내뿐만 아니라 국외에서도 많은 관심을 가지며 연구가 진행되고 있는데, 미국은 ‘Next generation lighting initiative (Vision 2020)’ 프로젝트를 진행하고 있으며, LED 조명의 확산 정책 추진에 따라 LED 조명을 인프라로 활용하는 가시광무선통신기술 및 시스템의 연구 개발이 활성화 되고 있다. 유럽에서는 2008년부터 옥스퍼드 대학과 프랑스 텔레콤을 중심으로 기가비트 서비스를 위한 OMEGA project 진행하여 Mbps급의 실내 가시광통신 연구 결과를 발표하였다. 일본에서는 총무성의 지원 하에 2003년부터

VLCC(Visible Light Communication Consortium)라는 단체를 구성하여 가시광무선통신기술의 연구 개발을 진행하고 있다[17-19]. 이렇듯 가시광무선통신기술은 발전 가능성이 매우 높아 국내뿐만 아니라 국외에서도 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 그 기술의 표준화가 현재에도 활발하게 진행되며 가시광무선통신을 사용하고자 하는 노력이 시도되고 있다.

그림 5 는 수중광무선 통신의 예를 보여 주고 있다. 지구의 면적은 대부분 바다로 이루어져있고, 해양에는 많은 해저 자원과 생물이 있는 것으로 알려져 있지만 접근이 쉽지 않기 때문에 개발에 한계가 있고 그에 따라 정보가 많이 존재하지 않는다. 바다 속에는 아직 개발되지 않은 해양 자원이 무궁무진하게 존재하고 있으며 이 해양 자원들을 발견하고 발굴하게 된다면 많은 이익을 가져다 줄 것이다. 하지만 무분별한 개발은 해양 생태계를 파괴 하게 될 것이고 더 이상의 해양 자원들을 발견할 수 없게 될 것이다. 그러므로 이 해양자원을 친환경적이면서 실시간으로 데이터를 수집하는 기술이 필요하다.



Underwater optical wireless communication network  
By. Optical engineering 49(1), 015001 (January 2010)



Underwater Visible Light Communication  
By Rise, Nakagawa Laboratories, Inc.,  
Keio University, October 2010

그림 5. 수중 광무선통신 기술

수중광통신은 실내외 환경에서 사용하는 가시광무선통신기술을 자유공간이 아닌 수중환경에 적용하여 사용하는 기술로서 가시광무선통신이 가진 특성을 사용할 수 있으며, 실시간으로 데이터를 수집할 수 있다. 수중광통신에서 사용되는 LED조명은 인체 유해 논란이 있는 전자파와는 달리 인체에 무해한 친환경적 기술이며, 수은과 납 등 금속성분을 사용하지 않아 친환경적이고 또한 빛을 이용하여 실시간으로 데이터 수집이 가능한 기술이다. 지상에서 거의 모든 무선 통신은 전파를 이용하지만 수중에서 전파통신을 사용할 경우 물의 매질적인 특성으로 인해 현저한 전파 감쇠 현상이 발생하여 통신 거리가 매우 짧고 높은 에러율과 전파 지연 그리고 많은 잡음 등으로 인해 수중 통신에서의 활용이 보다 어렵다[20].

표 1과 같이 음파, 전파, 광파를 이용한 수중통신의 특성비교를 보면 지상에서 정보를 전달하기 위한 반송파로 흔히 사용되는 전파(RF)를 해양을 포함하는 수중환경에서 사용할 경우, 송신한 에너지는 산란, 굴절, 흡수 등의 물리적 현상에 의해 거리에 따라 급속히 감쇠하게 된다.

표 1. 음파, 전파, 광파를 이용한 수중통신의 특성[21]

	Acoustic	Electromagnetic	Optical
Nominal Speed(m/s)	~1,500	~33,333,333	~33,333,333
Power Loss	>0.1dB/m/Hz	~28dB/1km/100MHz	∝ turbidity
Bandwidth	~Khz	~MHz	~10-150MHz
Frequency band	~Khz	~MHz	~10 <sup>14</sup> -10 <sup>15</sup> Hz
Antenna size	~0.1m	~0.5m	~0.1m
Effective range	~Km	~10m	~10-100m

특히, 주파수가 높을수록 즉, 파장이 짧을수록 신호의 세기는 더욱 빠르게 감쇠되는데, 가장멀리까지 전달되는 초장파를 사용할지라도 송출한 신호는 멀리 도달하지 못하며 수신한 신호의 신뢰도도 매우 낮아지게 된다. 또한 전파를 송신, 수신하기 위한 종단 소자로 안테나를 사용하는데 안테나의 크기는 파장의 길이에 비례하는 특성을 갖는다. 따라서 수중환경에서 전파 송수신을 위한 하드웨어 구현역시 현실적으로 불가능하며, 높은 잡음 수치 등으로 인해 실제 수중 통신에서의 활용은 어렵다. 그리고 전파는 주파수를 사용하여 통신을 하는 해양생물에게 치명적인 상해를 입힐 수 있으므로 친환경적이지 못하다. 그래서 수중에서 무선으로 정보를 전달하기 위한 수단으로써 음파가 널리 사용되는데, 음파를 이용한 통신은 수중에서 물의 매질 특성으로 인해 감쇠 현상이 발생하여 통신거리가 매우 짧고 낮은 대역폭을 가져 높은 에러율과 잡음을 가진다. 음파가 해수에서 전달될 때 해수 입자는 압축과 팽창을 반복하므로 음향 에너지의 일부가 해수 입자와의 점성 마찰 등에 의하여 열에너지로 바뀌게 된다. 즉, 음향에너지의 감쇠가 일어나게 되는 것이며, 음파가 전달될 때 단위거리 당 음향 에너지의 감쇠율을 음파의 흡수계수로 정의한다. 해수의 경우 음향 에너지의 감쇠를 일으키는 요인으로 해수 입자의 점성 흡수이외에도 해수 중에 미량으로 존재하는 황산마그네슘과 붕산의 완화 흡수가 있다. 잡음 문제로는 해수 중에 자연적으로 존재하는 잡음을 해양잡음 또는 해수 주위잡음이 있다. 수중 음파 통신에서 주로 사용하는 주파수 대역의 경우, 해양잡음의 주된 원인에는 해표면 위에서 부는 바람에 의하여 발생된 소리, 항행선박에 의하여 발생된 소리, 다양한 수중동물이 내는 소리, 그리고 해수의 분자활동에 의하여 발생된 열잡음 등이 있다. 신호를 다룰 때에는 잡음의 문제를 생각하지 않을 수 없으며, 이러한 해양잡음은 목표로 하는 음향신호의 수신을 방해하기 때문에 수중통신이 어렵다고 할 수 있다[21-23]. 이렇듯 수중 환경에서의 매질적인 특성으로 인해 음파와 전파 통신 활용의 문제점이 대두되고 있다. 이에 반해 수

중광무선통신은 단거리에 쓰이나 대역폭이 넓고 속도가 빨라 고속 데이터 전송이 가능하지만 그 성능은 탁도에 의존하고 있다. 하지만 현재 LED 성능이 급속하게 향상되고 있으므로 수중에서 보다 나은 통신이 가능할 것이라고 예상된다.

국내외에서의 수중광통신기술의 연구 동향을 보면, 대학 및 한국해양연구원 등에서 90년 대 부터 연구가 진행되었다. 강릉원주대학교의 해양 센서 네트워크 시스템 기술 연구센터는 ITRC 지원 사업을 통해 수중 센서 네트워크용 저 전력 초음파 모뎀 원천 기술과 RF/초음파 게이트웨이 기술, 노드 관리 기술 등을 개발하였으며 현재 트랜스듀서 및 모뎀의 소형화를 통해 H/W의 성능 향상을 위한 기술 개발과 수중환경에 최적화된 데이터전송 기법 등을 연구하고 있다. 한국해양연구원의 경우 동해안 및 남해안의 심해 실험에서 수 킬로의 거리에서 약 만bps정도의 데이터 전송 및 정지 영상에 대한 전송을 성공하였다. 또한 경북대는 ADD의 지원으로 국방수중 전술 네트워크 구축을 위한 기술개발을 진행하고 있다. 국외의 경우 미국의 Teledyne Benthos, Linkquest 등의 회사에서는 수중 통신 모뎀은 높은 전력을 사용하는 원거리 통신을 목적으로 상용화 하고 있으며 주로 해양 자원 탐사, 심해 조사 및 AUV 제어 등의 용도로 사용된다.

본 논문에서는 수중 가시광무선통신을 하기 위해 아날로그 오디오 변조 기술을 적용하여 시스템을 구성하였다. 주파수 변조 방식인 전압 제어 발진기와 위상 잠김 루프 방식을 사용하여 단방향 광무선 통신시스템을 구성하였고 CD4046B의 전압 제어 발진기와 위상 잠김 루프를 이용하여 주파수 변조 방식을 적용 하였다. 본 논문에서 보여주는 수중 오디오 통신 시스템은 가시광무선통신 기술을 일반 공기 중 환경뿐만 아니라 수중환경에서도 적용할 수 있으며 해양 자원들을 실시간이고 친환경적으로 발견하는데 적용할 수 있다는 것에 의미를 두고 있다.

## 제 3 장 광무선 통신 시스템

### 3.1 공기 및 수중에서의 통신성능

그림 6은 공기와 수중에서의 통신 성능을 실험하기 위한 구성도를 보여준다. 실험을 위해서 신호발생기를 사용하였고 광원은 LED 렌턴을 사용하였다. 광 검출기 포토다이오드는 SFH213을 사용하여 신호를 복원하였다. 시간응답특성 실험을 위해서 신호발생기에서 발생한 파형은 광원을 통해 공기 중 이나 수중으로 전송되고 광 검출기를 통해 복원되어 계측기인 오실로스코프로 측정하게 된다. 그림 7은 수중통신 성능 실험 환경을 보여준다. 포토다이오드의 개수와 그에 따른 공기, 물, 해수의 매질별에 따라 포토다이오드의 시간응답특성을 실험하기 위해 수조에 공기, 물, 해수를 담은 상태에서 통신실험을 수행하였다.

그림 8은 실험을 위한 LED 광원을 보여준다. 시중에서 구매할 수 있는 WLED 렌턴을 사용 하였으며, 33개의 WLED와 4개의 포토다이오드로 구성되어 있다. 이것은 포토다이오드 수에 따른 특성 측정을 하기 위해 기존 37개의 WLED로 구성되어 있는 렌턴에 그림 7에서와 같이 보이는 위치에 포토다이오드를 교체하여 제작하였다. 또한 33개의 WLED에 전압 차이를 두어 전압에 따른 광량 차이와 이로 인해 변화되는 통신 특성을 측정하였다.

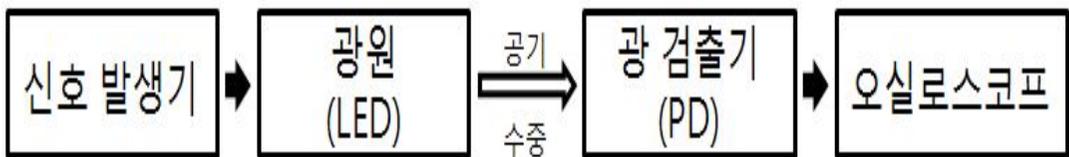


그림 6. 실험 구성도

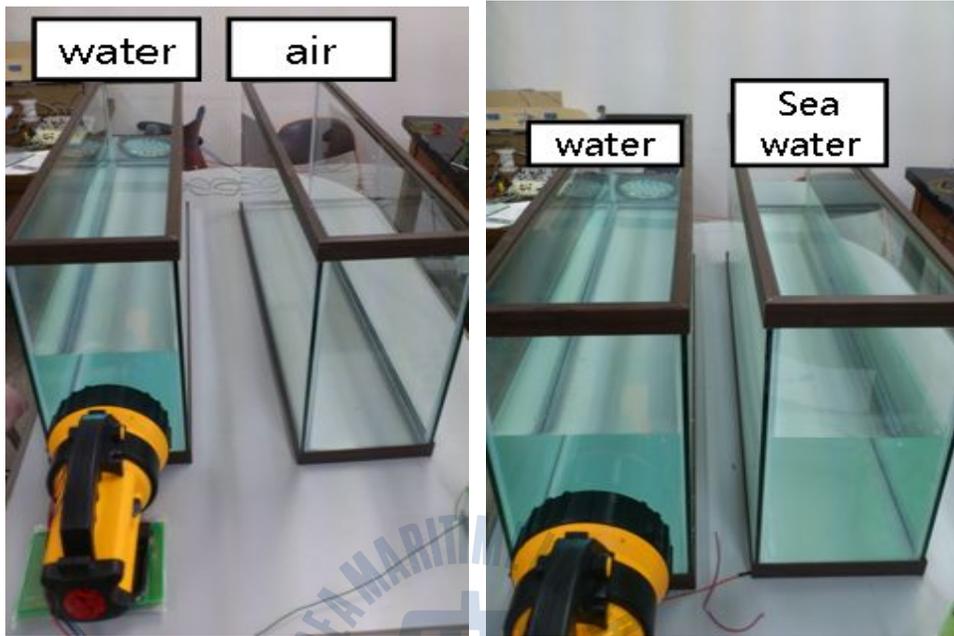


그림 7. 수중 통신 성능 실험 환경



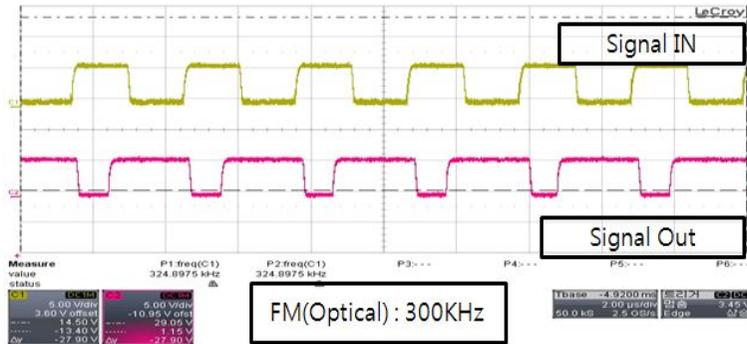
그림 8. 33개의 WLED와 4개의 포토다이오드로 구성된 광원

포토다이오드의 개수가 한 개 일 때, 각각 매질별에 따른 가시광무선통신 실험결과는 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)의 매질은 공기이며 이때 중심주파수 300Khz에서 실험 결과와 같이 신호 왜곡 현상이 일어나고 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 공기 일 때 중심 주파수 200Khz에서 통신이 가능 한 것을 알 수 있다. 그림 9(b)의 매질은 물이며 그림 9(a)와 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 물 일 때 200Khz에서 통신이 가능한 것을 볼 수 있다. 그림 9(c)의 해수에서의 시간응답특성 실험 역시 중심주파수는 200Khz 인 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 9(c)의 실험은 신호가 다른 매질보다 파형이 불안정 한 것을 볼 수 있다. 이것은 포토다이오드가 한 개 일 때 200Khz의 중심주파수를 가진 통신에서 매질이 공기나 물 일 때는 통신이 가능 하나 해수에서는 불안정 한 것을 보여주고 있다.

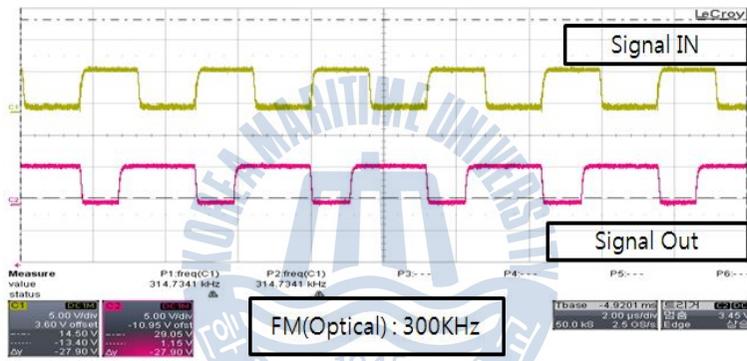
포토다이오드의 개수가 네 개 일 때, 각각 매질별에 따른 가시광무선통신 실험결과는 그림 10에 나타내었다. 그림 10(a)의 매질은 공기이며 이때 중심주파수 500Khz에서 실험 결과와 같이 신호 왜곡 현상이 일어나고 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 네 개인 실험에서 매질이 공기 일 때 중심 주파수는 400Khz에서 통신이 가능한 것을 알 수 있다. 그림 10(b)의 매질은 물이며 그림 10(a)과 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 네 개인 실험에서 매질이 물 일 때 400Khz에서 통신 가능한 것을 볼 수 있다. 그림 10(c)의 해수에서의 시간응답특성 실험에서 400Khz의 중심 주파수를 전송했을 때 수신부의 신호 응답이 없는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 매질이 해수 일 때 중심주파수는 300Khz에서 통신이 가능한 것을 알 수 있다. 매질이 공기와 물인 그림 10(a)과 그림 10(b)의 시간응답특성은 중심주파수 400Khz를 가지고 10(c)인 해수는 다른 매질과 달리 통신 가능한 중심주파수가 300Khz로 다른 것을 볼 수 있다.

그림 9와 10의 실험결과를 비교 분석하면 가시광무선통신은 포토다이오드의 개수가 증가함에 따라 또는 매질이 공기나 물 일 때 보다 해수에서의 통신능력이 향상됨을 알 수 있다. 이 결과에 따라 통신성능을 증가시키기 위해 포토다이오드의 개수를 늘려 빛을 더 많이 받아 민감도를 향상시키는 방안이 생길 것이다. 또한 수중에서 통신을 하기 위해서는 공기나 물 같은 다른 매질과는 다르게 광원의 세기를 높이거나 민감도를 향상시켜 통신성능을 증가시키는 방법이 필요함을 알 수 있다.

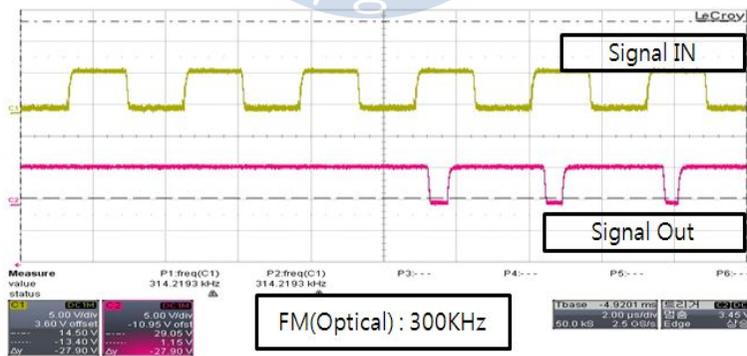




(a) 자유공간

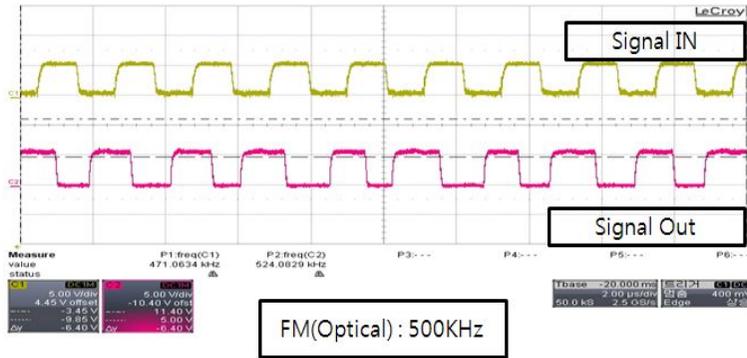


(b) 물

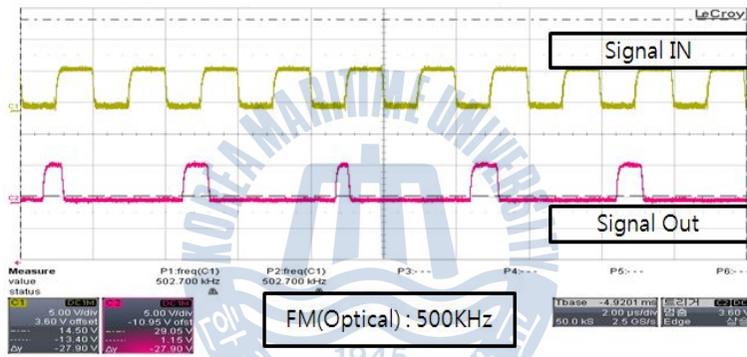


(c) 해수

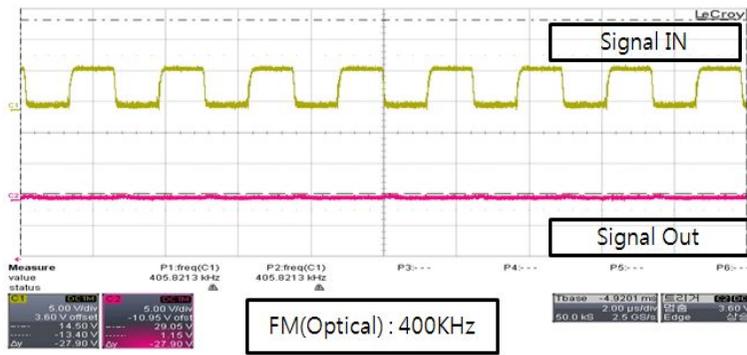
그림 9. 포토다이오드 1개 일 때, 매질별 시간응답특성 실험



(a) 자유공간



(b) 물



(c) 해수

그림 10. 포토다이오드 4개 일 때, 매질별 시간응답특성 실험

그림 11은 전압에 변화에 따른 LED 렌턴의 광량의 변화와 그 시간응답특성 실험을 위해 LED의 광량의 변화를 측정한 결과이다.

LED 렌턴에 전압 변화를 주었을 때 5V는 평균 769LUX로 매우 밝다. 3.5V의 전압에서 렌턴은 평균 415LUX로 밝기가 5V의 전압에 비해 감소하였으며 3.2V의 전압에서 광량은 평균 307LUX로 밝기가 매우 감소 한 것을 볼 수 있다. 이것은 전압에 따라 광량의 차이가 생기며 그에 따른 광무선 통신특성도 변화 할 수 있다는 것을 가정한 후 실험을 진행하였다. 포토다이오드의 개수는 고정하였고 LED의 광량에 변화에 따라 각각의 매질에서 통신 실험을 수행하였다.

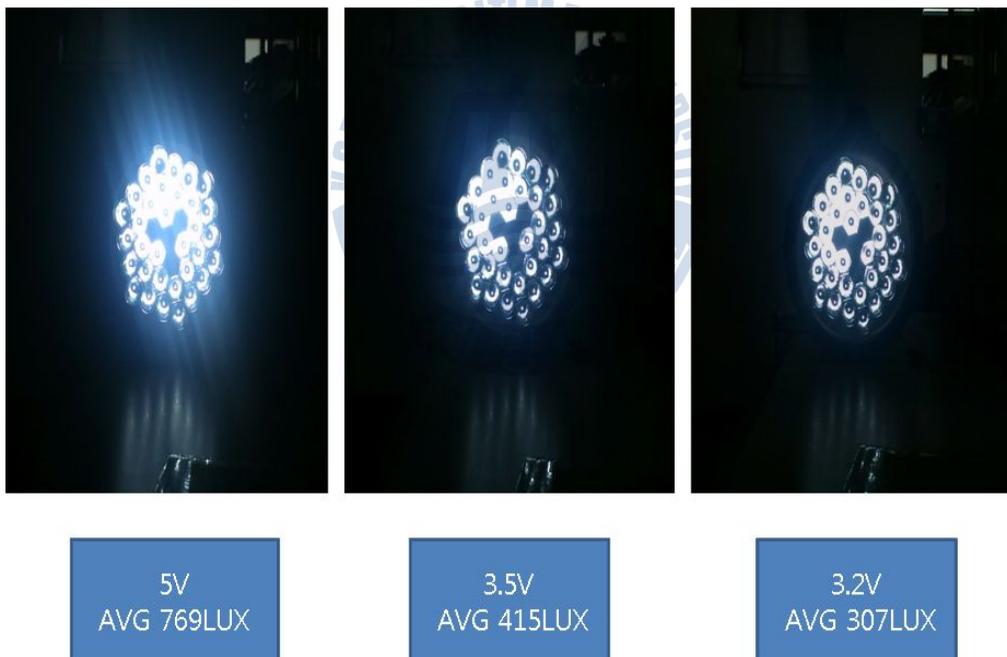


그림 11. 전압 변화에 따른 LED 렌턴의 광량 변화

그림 12는 LED렌턴에 3.5V 전압을 인가하고 포토다이오드 개수를 1개로 두어 공기, 물, 해수 매질별에 따른 통신 성능 실험결과이다. 통신 실험 거리는 75cm 이며, 100Khz의 중심주파수로 실험을 진행하였다. 통신 성능의 정확한 비교 변화를 위해 음성 신호가 아닌 삼각파로 실험을 진행하였다.

그림 12(a)의 매질은 공기이며 스피커 수신부분에서 신호 잡음이 생기고 있지만 입력 삼각파 형태와 동일하게 출력되는 것을 알 수 있다. 그림 12(b)의 매질은 물이며 그림 12(a)과 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 물 일 때에도 입력 신호와 출력신호가 동일하게 나타나 통신이 가능함을 보여주고 있다. 그림 12(c)는 해수에서의 통신성능 실험이며 그림 12(a)과 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 해수 일 때에도 다른 매질과 동일하게 통신이 가능함을 보여주고 있다. 실험 결과 포토다이오드를 1개로 두고 LED 렌턴에 3.5V의 전압을 인가하여 415LUX의 밝기로 실험 했을 때 수신부에서 신호 잡음이 생기지만 모든 매질에서 통신이 가능함을 알 수 있다.

그림 13은 LED 렌턴에 3.5V 전압을 인가하고 포토다이오드 개수를 4개로 두어 공기, 물, 해수 매질별에 따른 통신 성능 실험결과이다. 그림 12와 같이 통신 성능의 정확한 비교 분석을 위해 음성 신호가 아닌 삼각파로 실험을 진행하였다. 그림 13(a)의 매질은 공기이며 스피커 수신부분에서 신호 잡음이 거의 없이 입력 삼각파 형태와 동일하게 출력되는 것을 알 수 있다. 그림 13(b)의 매질은 물이며 그림 13(a)과 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 4개인 실험에서 매질이 물 일 때에도 입력 신호와 동일하게 출력이 되어 통신이 가능함을 보여주고 있다. 그림 13(c)해수에서의 통신성능 실험이며 다른 매질에 비해 스피커 수신부분에서 신호 잡음이 생기나 그림 13(c)에 비교하였을 때 보다 안정적인 것을 볼 수 있다. 실험 결과 포토다이오드를 4개로 두고 LED 렌턴에 3.5V의 전압을 인가하여 415LUX의 밝기로 실험 했을 때 수신

부에서 신호 잡음이 거의 없이 모든 매질에서 통신이 가능함을 알 수 있다.

그림 12와 13의 실험결과를 비교 분석하면 가시광무선통신은 포토다이오드의 개수가 증가함에 따라 해수의 통신 성능이 증가함을 볼 수 있다. 또한 매질이 해수일 때 보다 공기나 물 일 때 통신 성능이 증가함을 볼 수 있다.

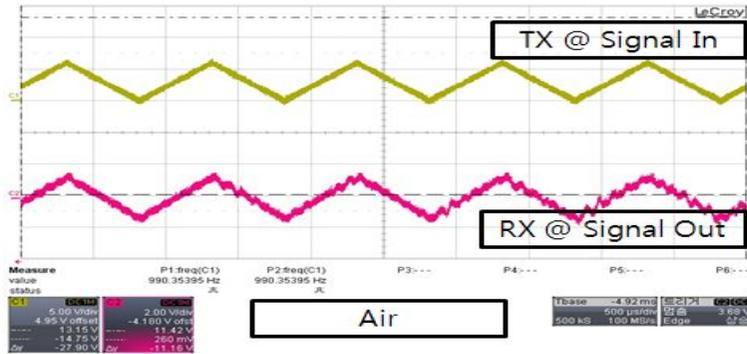
이 결과에 따라 수중 통신은 해수의 특성으로 인하여 공기나 물에서 보다 통신 성능이 감소하기 때문에 광원의 세기를 높이거나 민감도를 향상시켜 통신 성능을 증가시키는 방법이 필요함을 알 수 있다.

그림 14는 LED 렌턴에 3.2V의 전압을 인가하고 포토다이오드 개수를 1개로 두어 공기, 물, 해수 매질별에 따른 통신 성능 실험결과이다. 그림 14(a)의 매질은 공기이며 스피커 수신부분에서 3.5V의 전압을 인가했을 때 보다 신호 잡음이 생기고 있지만 입력 삼각파 형태와 동일하게 출력되는 것을 알 수 있다. 그림 14(b)의 매질은 물이며 그림 14(a)와 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 물 일 때에도 입력 신호와 동일하게 출력이 되어 통신이 가능함을 보여주고 있다. 그림 14(c)의 해수 통신 성능 실험이며 스피커 수신부분에서 수신신호의 잡음과 삼각파 출력 파형 형태가 일그러져 통신이 불가능함을 보여주고 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 하나인 실험에서 매질이 해수 일 때에는 공기와 물 같은 다른 매질과 다르게 통신거리 75cm에서, 100Khz의 중심주파수로 통신을 했을 때는 통신이 불가능함을 알 수 있다. 실험 결과 포토다이오드를 1개로 두고 LED 렌턴이 307LUX의 밝기를 가질 때, 공기와 물 환경에서는 수신부에서 신호 잡음이 생기지만 통신이 가능함을 알 수 있으나 매질이 해수 일 경우에는 수신신호의 손실과 잡음으로 인해 통신이 불가능한 것을 알 수 있다.

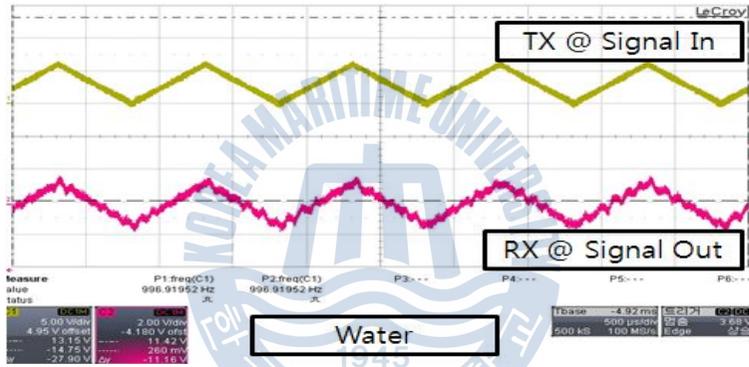
그림 15는 LED렌턴에 3.2V 전압을 인가하고 포토다이오드 개수를 4개로 두어 공기, 물, 해수 매질별에 따른 통신 성능 실험결과이다. 그림 15(a)의 매질은 공기이며 스피커 수신부분에서 신호 잡음이 거의 없이 입력 삼각파 형태와 동

일하게 출력되는 것을 알 수 있다. 그림 15(b)의 매질은 물이며 그림 15(a)와 같은 현상을 볼 수 있다. 따라서 포토다이오드의 개수가 4개인 실험에서 매질이 물 일 때에도 입력 신호와 동일하게 출력이 되어 통신이 가능함을 보여주고 있다. 그림 15(c)의 해수 통신성능 실험이며 다른 매질에 비해 스피커 수신부에서 신호 잡음이 생기나 다른 매질과 동일하게 통신이 가능함을 알 수 있다. 실험 결과 포토다이오드를 4개로 두고 307LUX의 LED렌턴으로 실험 했을 때 모든 매질에서 통신이 가능함을 알 수 있다.

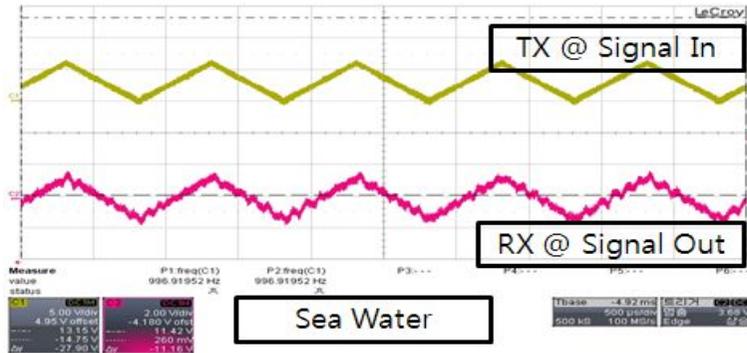
위 실험들을 비교 분석한 결과 LED의 광량이 높고, 포토다이오드 개수가 증가함에 따라 통신성능이 증가하는 것을 볼 수 있었다. LED렌턴은 빛을 증가시키면 밝기가 증가하므로 빛이 멀리 도달할 수 있는 빛의 특성을 가지고 있다. 가시광무선통신은 이러한 빛의 특성을 이용한 통신이기 때문에 빛의 증가에 따라 통신성능도 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 수신기인 포토다이오드의 개수에 따라 통신성능이 증가하는 이유는 [24]에서 알 수 있다. 포토다이오드1개가 받을 수 있는 광자의 개수가 정해져 있는데 포토다이오드 개수가 증가함에 따라 빛의 집적성이 생기고 받을 수 있는 광자의 개수가 많아져 더 작은 빛에도 민감하기 때문이다. 이 결과에 따라 해수에서 높은 품질의 통신을 하기 위해서는 광원의 세기를 높이거나 포토다이오드의 개수를 늘려 통신성능이 향상시켜야 하는 것을 알 수 있다.



(a) 공기

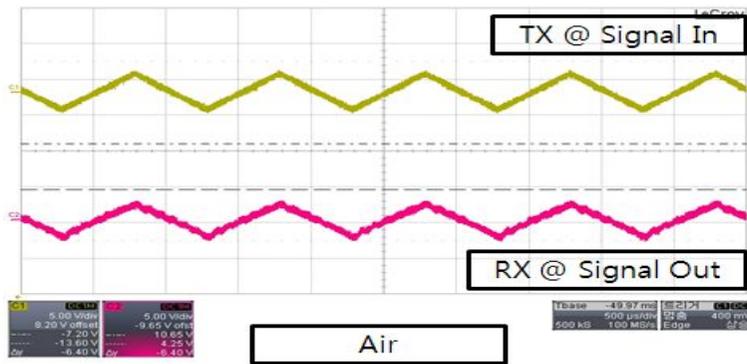


(b) 물

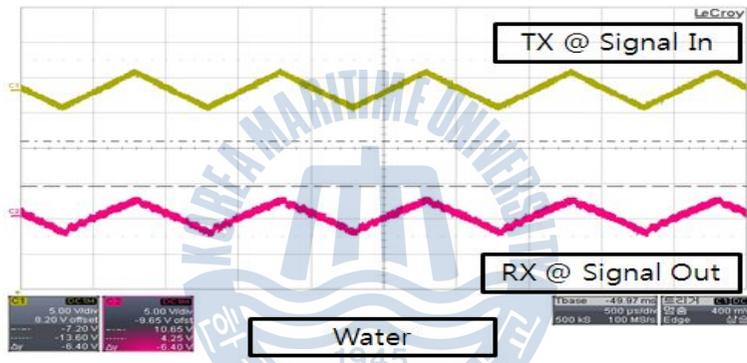


(c) 해수

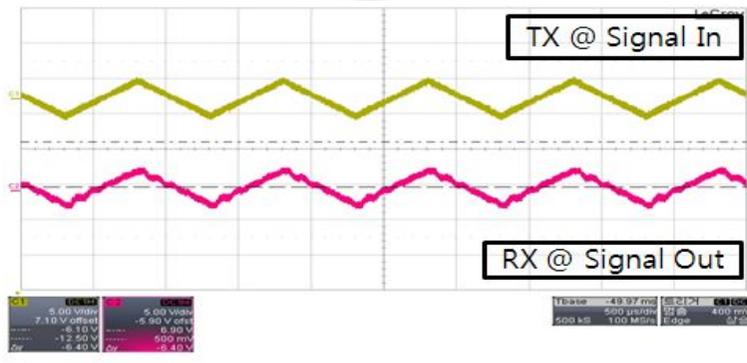
그림 12. 3.5V 전압, 포토다이오드 개수 1개 일 때 매질별 통신성능 실험



(a) 공기

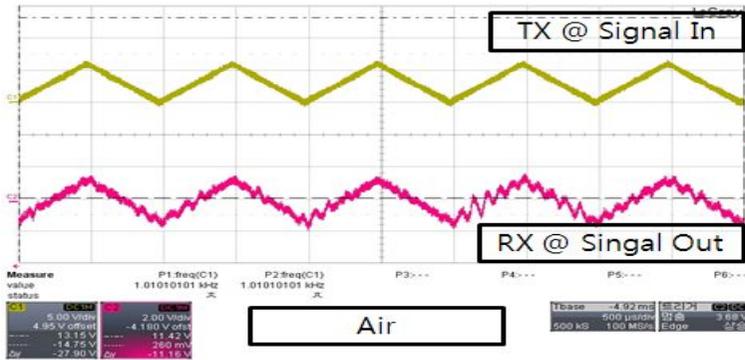


(b) 물

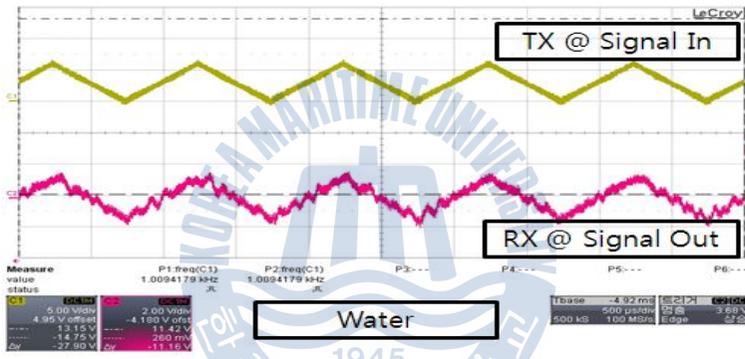


(c) 해수

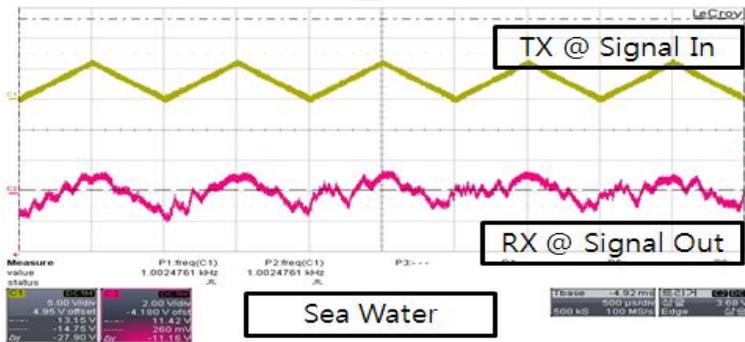
그림 13. 3.5V 전압, 포토다이오드 개수 4개 일 때 매질별 통신성능 실험



(a) 공기

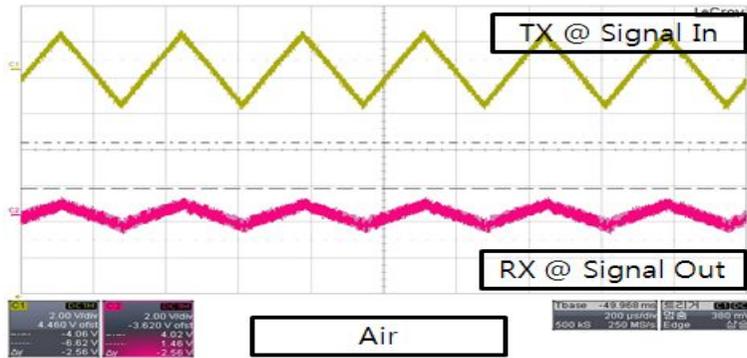


(b) 물

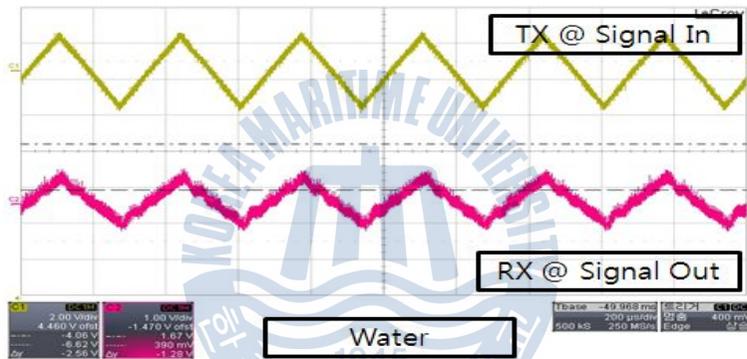


(c) 해수

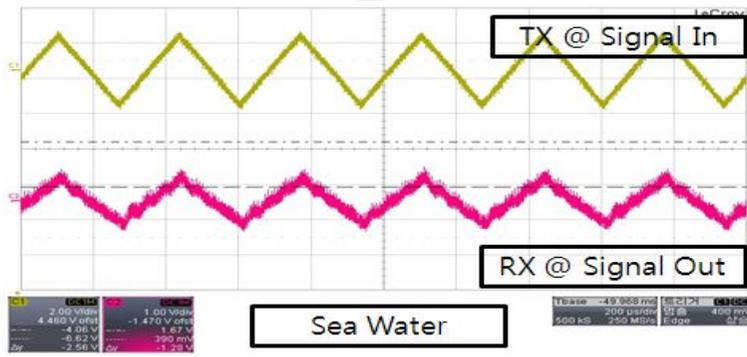
그림 14. 3.2V 전압, 포토다이오드 개수 1개 일 때 매질별 통신성능 실험



(a) 공기



(b) 물



(c) 해수

그림 15. 3.2V 전압, 포토다이오드 개수 4개 일 때 매질별 통신성능 실험

## 3.2 VCO를 이용한 수중 오디오 통신

### 3.2.1 시스템 구성

수중환경에서 오디오 전송을 구현하기 위하여 제안한 가시광 통신시스템의 구조는 그림 16과 같다. 그림 16의 송신시스템에서는 입력된 오디오 신호는 증폭기에서 일차 증폭을 거친 후 전압제어발진기를 이용하여 아날로그 신호의 크기에 비례하는 주파수 변조를 수행한다. 주파수 변조된 신호는 LED를 구동하여 전기적인 오디오 신호가 광 신호로 전환되어 임의의 채널을 통해 전송될 수 있게 하며, 변조된 광 신호는 수중환경을 통해 전송된다.

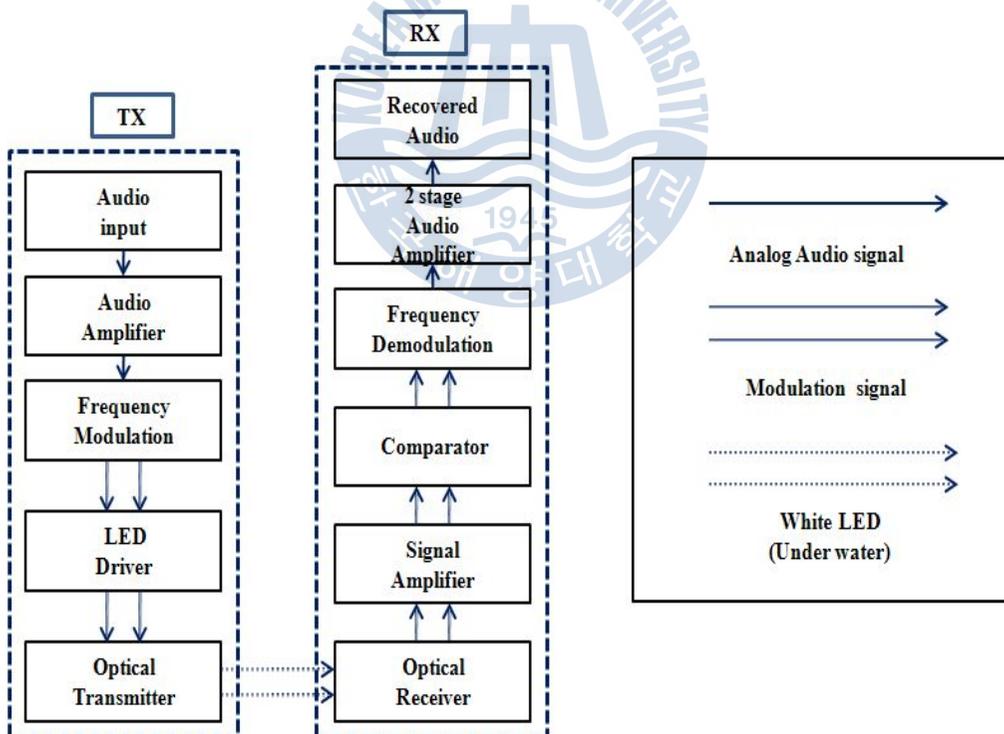


그림 16. 수중 오디오 전송을 위한 광무선 송수신 시스템 블록다이어그램

수신 시스템에서는 포토다이오드를 이용하여 전송된 LED신호를 검출하고 증폭기를 통하여 일정한 수준의 신호 준위로 만든다. 증폭된 신호에 포함된 노이즈 성분을 제거하고 주파수 변조된 원 신호를 재현하기 위하여 비교기를 통과한다. 재현된 신호는 위상잠김루프를 이용하여 원래 아날로그 신호로 복조하게 되고 두 번의 증폭을 거친 후 연결된 스피커에 음원이 재생된다. 수중 오디오 전송 시스템은 CD4046B(SCH043B, Texas Instruments)로 오디오의 주파수 변/복조를 수행하였다. CD4046B는 전압제어발진기(VCO: Voltage Controlled Oscillator)와 위상잠김루프(PLL: Phase Locked Loop)를 이용한 FM modulator 와 demodulator 사용이 가능하다.

그림 17은 입력신호의 세기에 따라 주파수 변조된 출력 파형을 보여준다. 변조된 출력파형은 CD4046B에 연결된 가변저항으로 고정된 중심 주파수를 기준으로 입력 전압에 비례하여 주파수가 가변되는 전압제어발진기의 특징을 보인다.

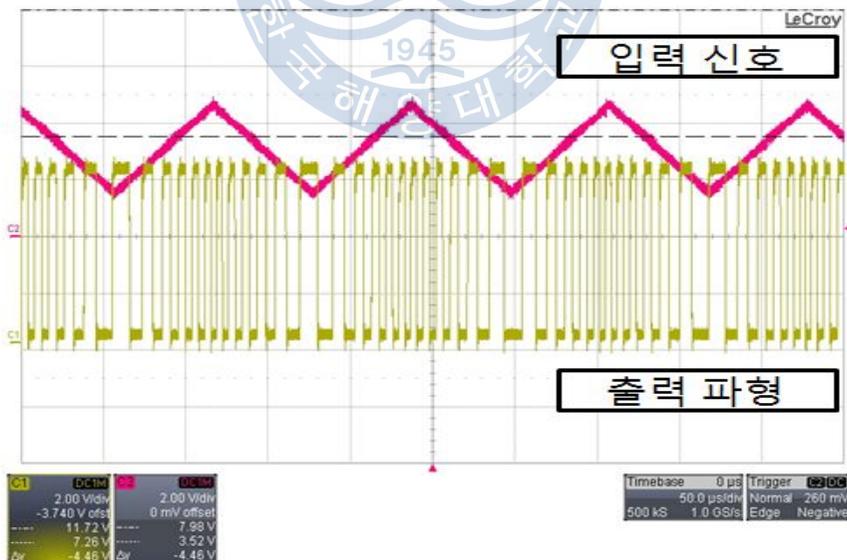


그림 17. 입력 신호의 세기 변화에 따라 주파수 변조된 출력 파형

오디오 신호의 증폭을 위해서는 LM386 저 전압 오디오 증폭기를 사용하며 증폭 이득은 20에서 최대 200까지 얻을 수 있다. 수중 오디오 통신 시스템을 위한 LM 386의 증폭 이득은 20이 되도록 회로를 구성하였다. LED에 필요한 전류를 공급해주기 위해 LED driver인 74LS04를 사용하였으며 증폭된 신호에 포함된 노이즈 성분을 제거하고 LED에서 전송된 원 신호를 재현하기 위해 비교기인 LM2901을 사용하였다.

그림 18은 CD4046B를 이용한 오디오 신호 전송을 위한 송신 시스템의 회로도 를 보여준다. 입력된 오디오 신호는 LM386 오디오 증폭기와 입력단의 가변저항 에 의해 적절히 증폭되어 CD4046B의 9번 핀으로 입력되면 전압제어발진에 의한 신호로 바뀌어 4번 핀으로 출력된다.

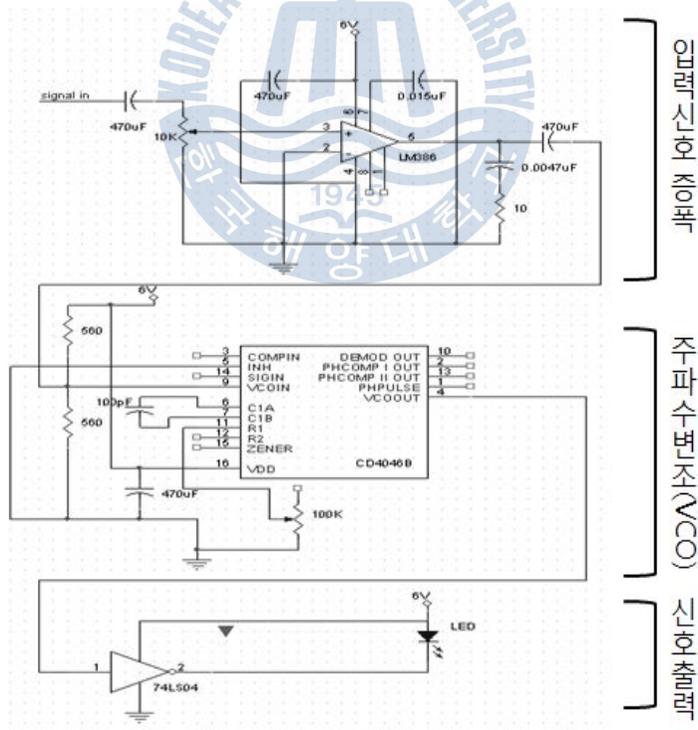


그림 18. 광무선 오디오 송신부

11번 핀에 연결된 가변저항으로 증심주파수를 제어할 수 있다. 출력된 전압 제어받진 신호는 인버터를 통해 LED로 연결이 된다.

그림 19는 CD4046B의 위상잠김루프를 이용한 복조회로이다. 포토다이오드에 수신된 주파수 변조 신호는 LM386에서 증폭된 후 LM2901 저 전력 전압비교기로 입력되어 잡음이 제거된 파형으로 복원되고 다시 주파수 변조된 신호의 복조를 위하여 CD4046B의 14번 핀으로 연결된다.

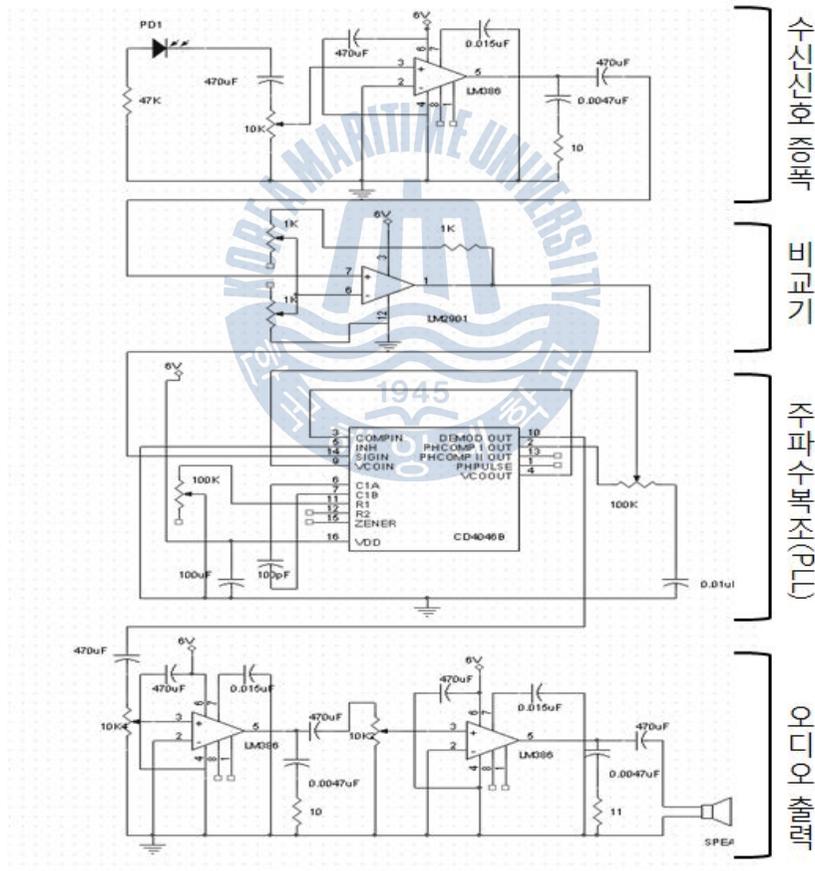


그림 19. 광무선 오디오 수신부

이때 11번 핀에 연결된 가변저항을 통해 복조신호의 중심주파수를 조절 할 수 있으므로 송신단의 변조 주파수와 일치하게 조절한다. 복조된 신호는 2단 증폭기를 통해 스피커로 전달된다.

가시광 통신에 있어서 LED 광원의 발산각과 포토다이오드의 수광각은 수신율에 매우 민감한 영향을 미친다. 일반적으로 광원과 수광 소자가 일직선일 경우 최적의 통신성능을 보장하지만 어긋날 경우 수광 전력이 급속히 감소하며 수신 감도도 떨어지게 된다. 수광 소자로 사용한 SFH213의 경우 그림 20과 같이 수광각이  $\pm 10^\circ$  내외로 매우 작다. 만약 LED 광원의 발산각이 커지고 수신기와의 거리가 점점 멀어진다면 수신 효율은 지수 함수적으로 감소하는 경향이 있다. 수중통신을 위한 송수신기로서 3W의 고출력 파워 LED (PPO0W-8L63-Star, PHOTRON) 와 포토다이오드 (SFH213, OSRAM)를 적용하였고, 본 연구에서는 이러한 문제점을 그림 21과 같이 콜리메이터 렌즈를 LED와 포토다이오드에 부착함으로써 광 효율을 높여 해결하였다.

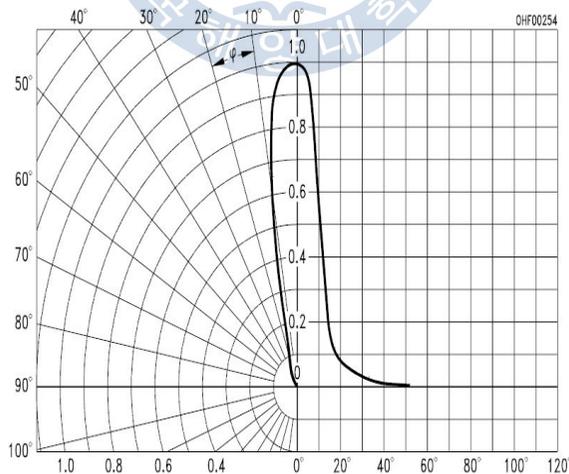


그림 20. SFH213의 방향 특성

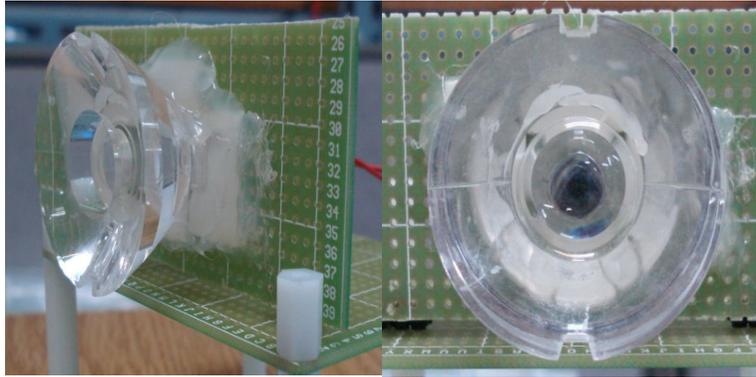


그림 21. 콜리메이터 렌즈를 부착한 LED와 포토다이오드

### 3.2.2 실험 및 결과

그림 22는 수중통신을 위한 실험 환경을 보여준다. 수중에서 실험을 하기 위하여 수조 (90× 20× 45 cm<sup>3</sup>)를 사용하였으며, 실험의 편의를 위하여 LED 광원과 포토다이오드 부분만 수조에 침수될 수 있도록 구성하였다. 수조에 민물을 수조 바닥에서부터 20 cm 정도의 높이로 채우고 통신을 위한 광원과 포토다이오드 부분만 수조 바닥에 설치한 후 일정거리 띄운 상태에서 통신실험을 수행하였다. 수광 소자인 SFH213은 5 ns의 응답시간 특성을 보이므로 200 MHz의 넓은 주파수 대역폭을 제공한다. 백색 LED는 청색 LED 칩의 상부가 인 (P, phosphorus)으로 채워진 구조이므로 반응속도가 느린 것으로 알려져 있다. 광검출기는 빛을 전기적 신호로 바꾸는데 있어서 반응 시간이 존재하기 때문에 감지할 수 있는 주파수가 제한되어 있다. 본 논문에서는 가장 안정적인 주파수에서 수중 오디오 통신을 하기 위해 주파수별 시간응답특성을 측정 및 실험을 진행하였다.

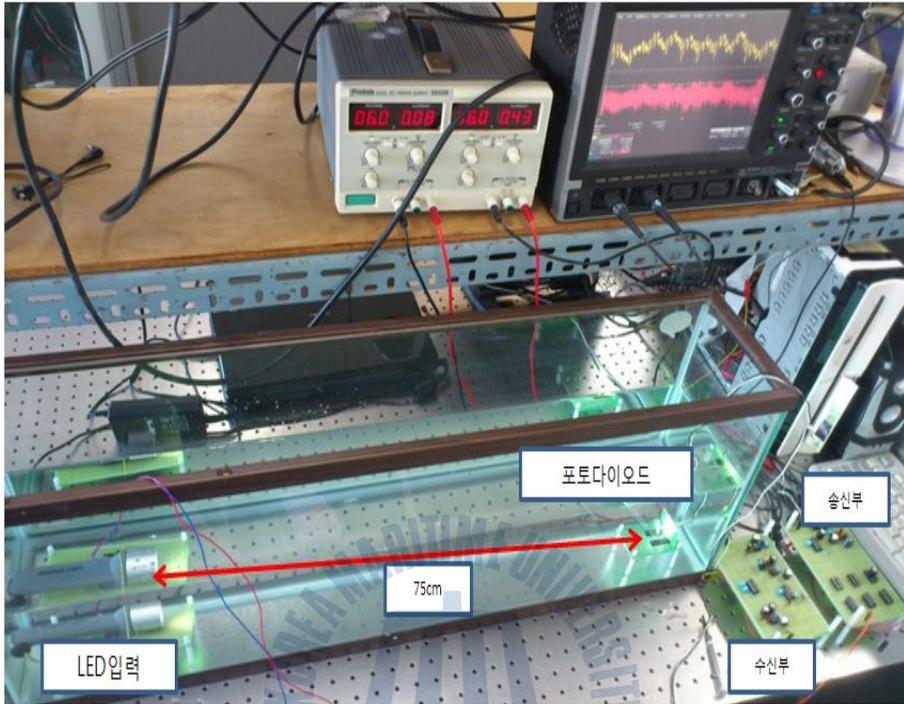
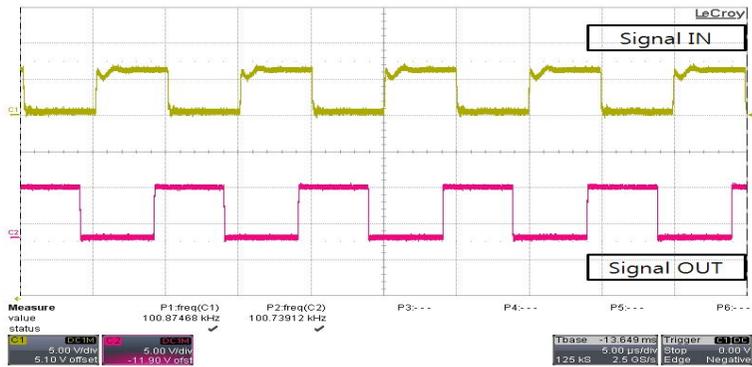
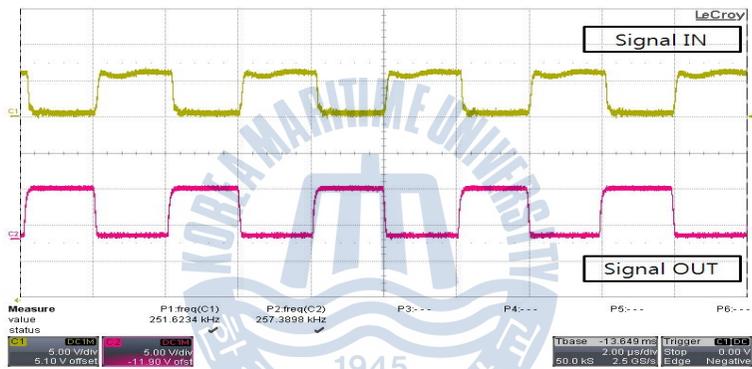


그림 22. 음성 전송을 위한 수중 가시광통신 실험 구성

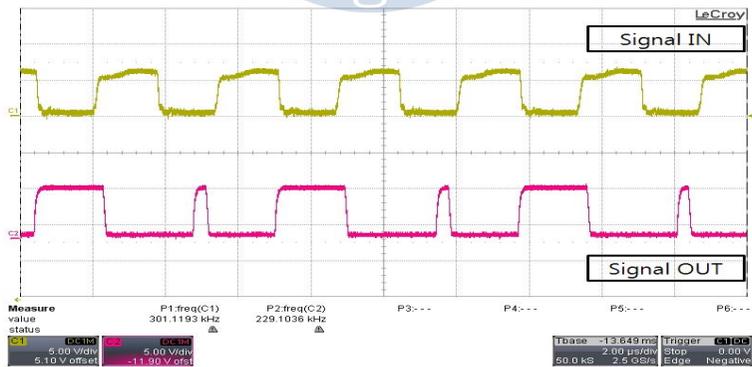
그림 23은 LED 구동 회로의 수중 오디오 통신을 위한 주파수별 시간응답특성을 보여준다. 100 KHz의 변조 주파수에 대한 시간응답특성은 그림 23(a)과 같이 완벽한 출력 파형을 보여준다. 250 KHz 변조 주파수에서는 그림 23(b)의 실험결과와 같이 신호왜곡 현상이 약간 일어나고 있으며 300 KHz에서는 그림 23(c)과 같이 복조된 신호가 원 신호와 달라짐을 알 수 있다. 본 논문에서는 안정적인 오디오 전송을 위하여 송신단의 전압제어발진 주파수를 100 KHz로 설정하여 LED를 스위칭 하였다.



(a) 100 KHz



(b) 250 KHz

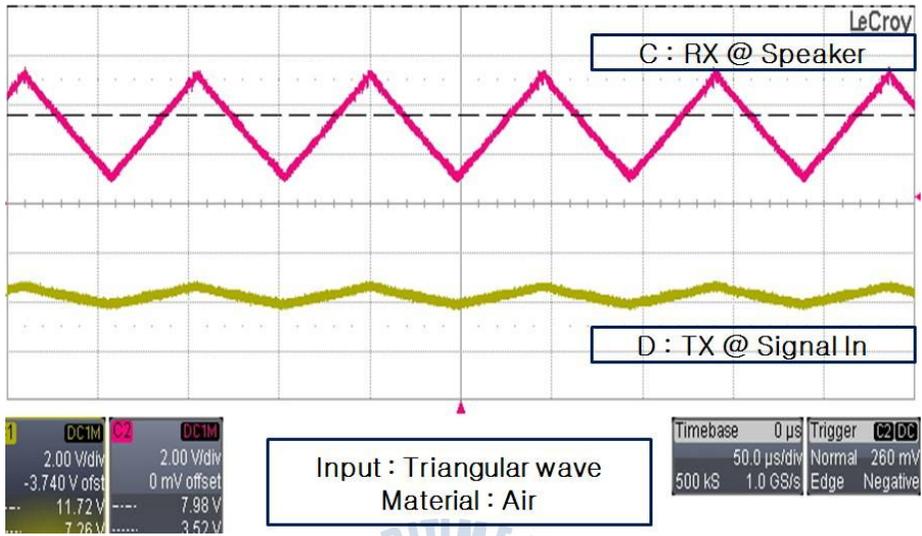


(c) 300 KHz

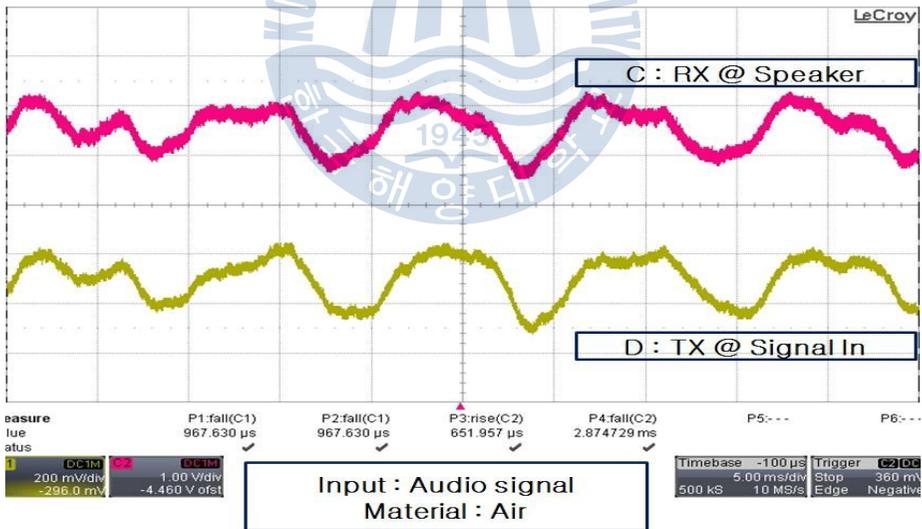
그림 23. 수중 오디오 통신을 위한 주파수별 시간응답특성

자유공간에서 가시광에 의한 오디오 통신 실험결과는 그림 24에 나타내었다. 그림 24(a)는 100 Khz의 삼각파형 입력에 대한 수신단의 주파수 복조 능력을 보여준다. 이때 광원과 수신단간의 거리는 75 cm이다. 1V의 입력신호 준위를 가진 삼각파형이 수신단에서 잡음 없이 증폭기를 통해 5V의 신호 준위를 가지는 파형으로 복원됨을 알 수 있다. 동일한 환경에서 오디오 신호로 임의의 음악 파형이 입력되었을 때 재생정도를 그림 24(b)에 나타내었다. 입력 신호파형과 100 Khz로 주파수 변조를 통해 통신된 하였을 때 파형에서 복조된 신호간의 차이를 발견할 수 없을 정도로 재현됨을 알 수 있다.

그림 25는 수조의 수중환경에서 측정된 가시광 통신 특성을 보여준다. 그림 25(a)는 자유공간과 마찬가지로 광원과 수신단간의 거리가 75 cm인 상태에서 중심주파수 100 Khz의 삼각파형 입력에 대한 수신단의 복조 능력을 측정하였다. 자유공간에서의 가시광 통신 결과인 그림 24(a)와 비교하였을 때 출력신호에 왜곡현상이 있음을 알 수 있다. 이것은 공기 ( $n=1.0$ ) 보다 높은 굴절률을 가지는 물 ( $n=1.33$ )에서 광 신호의 감쇄와 산란이 크게 일어남을 의미한다. 수중에서 임의의 음악파형이 전송되었을 때 측정된 신호는 그림 25(b)에 나타내었다. 입력 오디오 신호가 100 Khz 주파수 변조를 통해 수중에서 충분히 통신이 가능함을 보여준다. 그림 24와 25의 실험 결과 파형을 측정한 결과, 변조 주파수 100 Khz에서 최대 통신 가능한 거리를 측정한 결과 자유공간에서 135 cm까지 통신이 가능했으며 수중에서는 75 cm 까지 통신이 가능함을 확인하였고, 수중에서 근거리 통신이 충분히 가능함을 확인하였다.

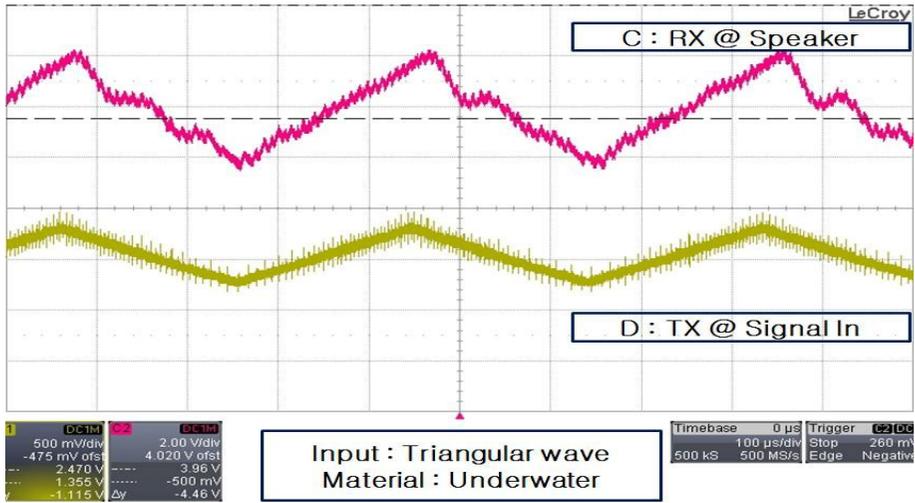


(a) 삼각파

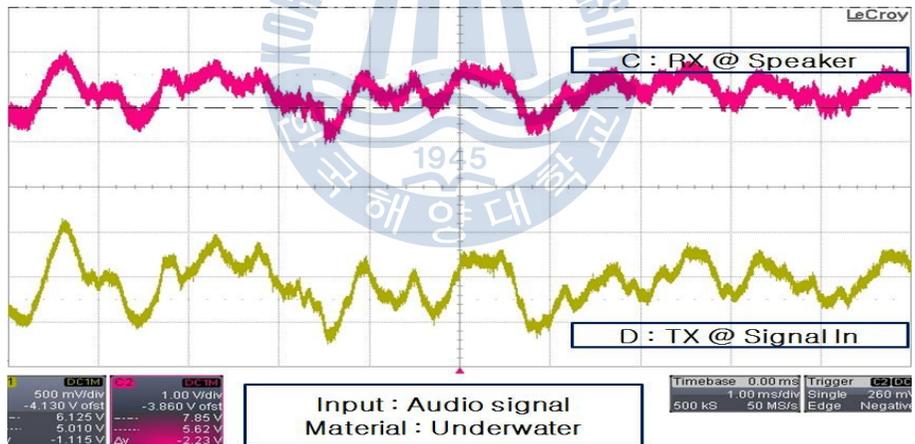


(b) 오디오 신호

그림 24. 중심주파수 100Khz로 자유공간에서의 오디오 통신 실험 파형



(a) 삼각파



(b) 오디오 신호

그림 25. 중심주파수 100Khz로 수중환경에서의 오디오 통신 실험 파형

### 3.3 광무선 기반 정지화상 전송

#### 3.3.1 시스템 구성

광무선 기반 정지화상을 구현하기 위해서 제안한 가시광 통신시스템은 양방향 통신이며 구성은 그림 26과 같다.

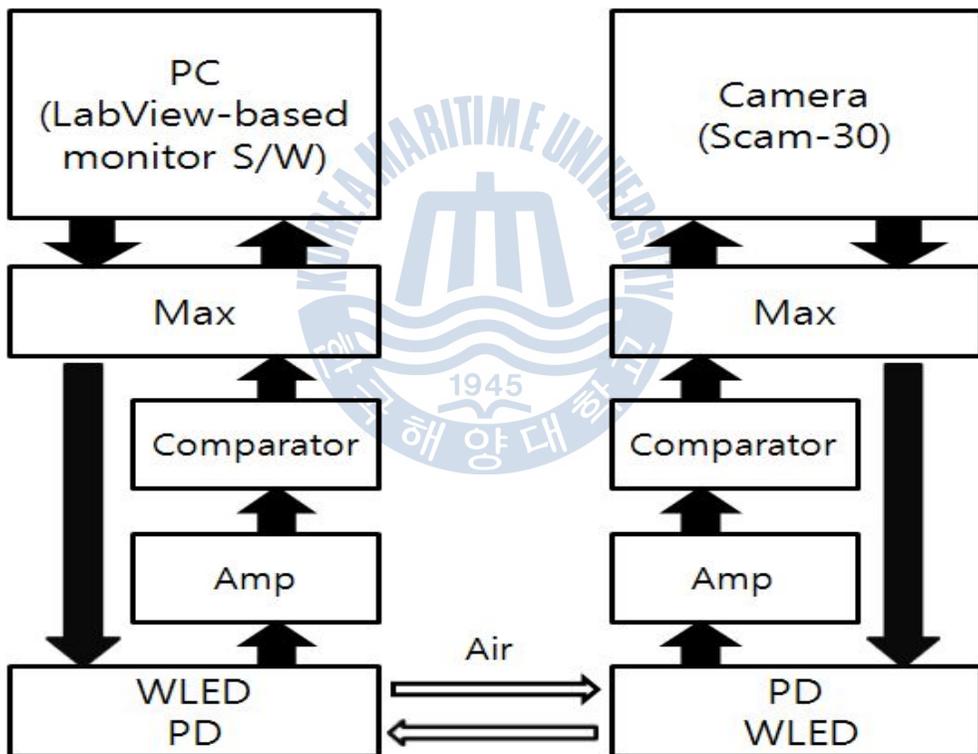


그림 26. 정지화상 전송을 위한 광무선 송수신 시스템 블록 다이어그램.

컴퓨터의 송신 시스템에서는 Control/Monitor Program인 LabView를 통하여 전송된 카메라 작동 시리얼 신호를 MAX232에서 LED의 전기적 신호 준위로 만든다. 신호는 LED를 구동하여 전기적인 신호가 광 신호로 전환되어 임의의 채널을 통해 전송될 수 있게 한다. 카메라 송신 시스템에서는 시리얼 카메라(SCAM-30)를 통해 캡처된 이미지가 이진 신호화 되어 LED를 구동할 수 있는 전기적 신호로 만들어 LED를 통하여 전송된다. 카메라의 수신 시스템에서는 컴퓨터 송신 시스템을 통해 전송된 LED 신호를 포토다이오드를 이용하여 검출하여 증폭기와 비교기를 통하여 일정한 수준의 신호 준위로 만든다. 증폭된 신호는 MAX232를 통하여 RS-232의 전기적 신호 준위로 만들어 카메라에 작동 신호를 전송하게 된다. 컴퓨터의 수신 시스템에서는 카메라에서 전송된 LED 신호를 포토다이오드를 이용하여 검출하여 증폭기를 통하여 일정한 수준의 신호 준위로 만든다. 증폭된 신호에 포함된 노이즈를 제거하고 원래 신호를 재현하기 위해서 비교기를 통과한 후 MAX232에서 컴퓨터에 맞는 RS-232의 전기적 신호 준위로 만든다. RS-232를 통하여 전송된 신호는 Control/Monitor Program에서 LabView를 통하여 JPEG파일로 복구된다.

그림 27은 정지 화상 전송을 위한 카메라(SCAM-30)의 모습이다. SCAM-30은 DC 5V로 동작하며 주요 부품으로서는 digital video processor인 VC0706PREB와 RS-232(RX, TX, GND)로 구성된다. RS-232를 통해 신호를 받아 이미지 캡처를 하고, 이미지는 카메라 모듈 하단에 있는 digital video processor인 VC0706PREB를 통해 JPEG형태로 압축되어 시리얼 신호로 변환 후 RS-232를 통해 전송된다. SCAM-30은  $5.6\mu\text{m} \times 5.6\mu\text{m}$ 의 픽셀크기를 가지며 30만 화소로서 QVGA( $302 \times 240$ )의 해상도를 제공한다. 또한 38400bps에서 최대 115200bps의 신호 처리 속도를 가진다.

그림 28은 이미지 캡처를 위한 데이터 통신 블록 다이어그램을 나타낸다. 컴퓨터의 LabView 프로그램에서 카메라 제어 신호를 Reset과 함께 시작한다. 신

호를 받은 카메라에서는 컴퓨터로 세 번의 ACK신호를 보낸 후 이미지 데이터를 전송하고 Stop 신호를 받은 후 ACK와 함께 종료하게 된다.

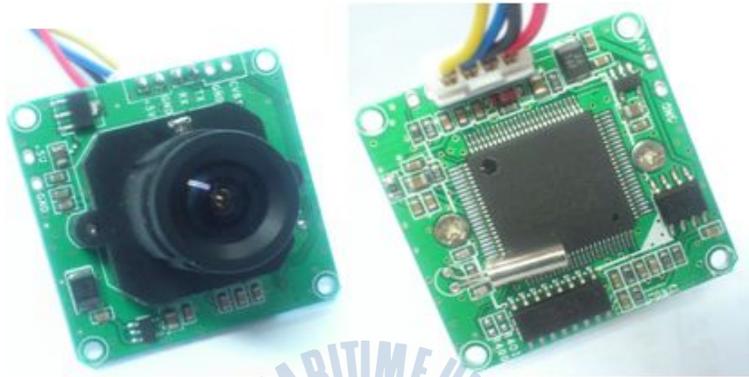


그림 27. 정지 화상 전송을 위한 카메라(SCAM-30)

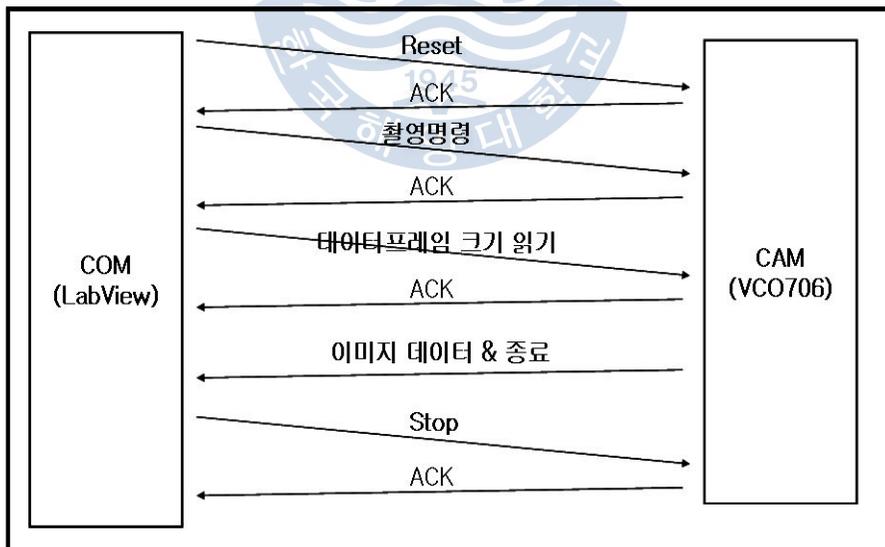


그림 28. 이미지 캡처를 위한 데이터 통신 블록 다이어그램

그림 29는 카메라를 제어하기 위한 LabView 프로그램의 프런트패널과 블록 다이어그램이다. LabView에서 시리얼 통신을 할 수 있도록 38400bps의 속도와 COM포트 설정을 해주었다. 이미지를 캡처하기 위해서 프런트 패널의 Capture 버튼을 누르게 되면 신호가 광 디바이스로 전송되고 LED를 통해 카메라 수신기에 도달하여 이미지를 캡처하게 된다. 카메라에서 캡처된 이미지는 시리얼 형태로 LED를 통해 컴퓨터의 수신기로 전송되고 LabView 프로그램을 통해 이미지 형태로 복구된다.

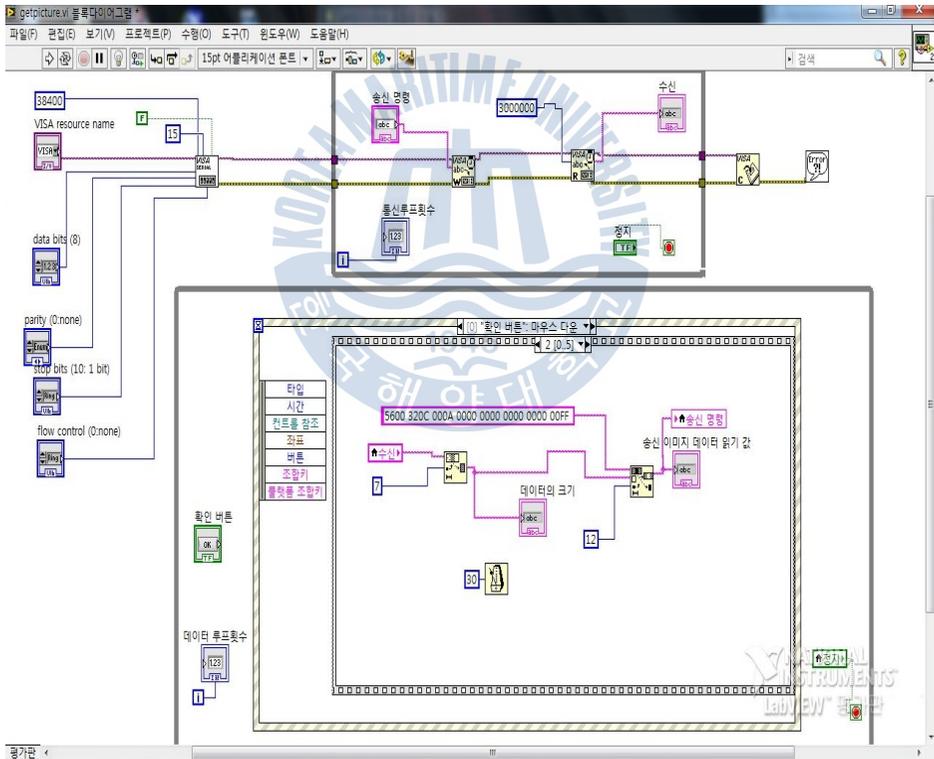


그림 29. 이미지 캡처를 위한 카메라 제어 프로그램(LabView)

그림 30과 31은 정지화상 이미지 전송을 위한 송/수신 시스템의 회로도를 보여준다. 그림 30의 송신 회로도에서는 컴퓨터에서 LabView가 실행되어 제어 신호를 전송한다. 그림 31의 수신 회로도에서는 카메라(Scam-30)에서 제어 신호를 받아 이미지 캡처를 한 뒤 JPEG 압축을 하여 시리얼 데이터로 신호를 전송한다. 두 개의 회로 구성에는 모두 같은 제품이 사용된다. LM386 증폭기에서는 LED에서 수신된 신호는 가변저항에 의해 증폭되어 원래의 신호를 복구하기 위해서 일정 이상 신호를 증폭하기 위해 사용된다. 증폭된 신호는 LM2901 저 전력 전압비교기로 입력되어 잡음이 제거된 파형으로 복원되고 MAX232에서 원하는 전기적 신호 준위로 바뀌어 각각 컴퓨터와 카메라에 전송된다. LS7404를 이용한 인버터는 LED 구동에 필요한 전류를 공급하기 위해 사용하였다.



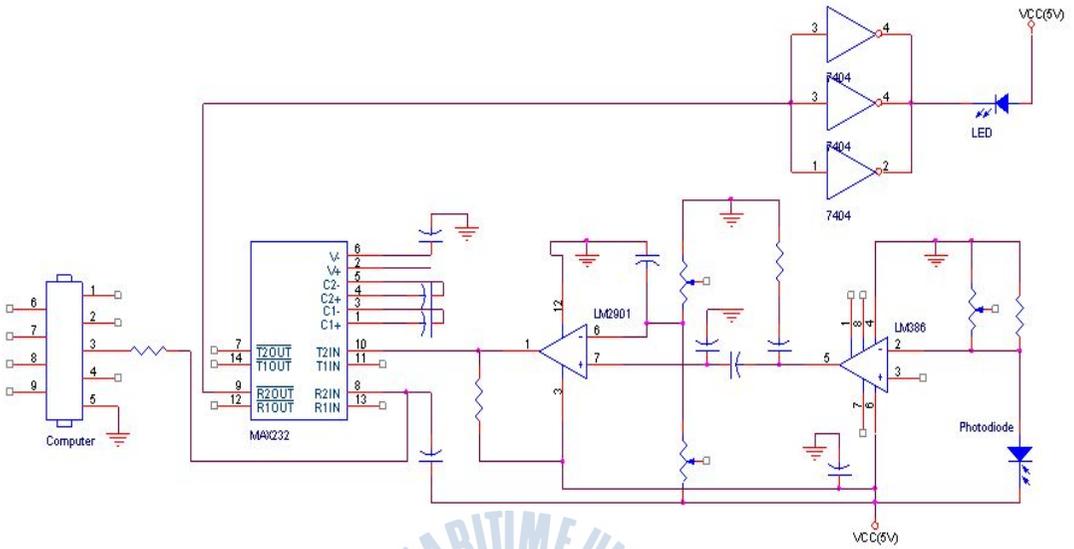


그림 30. 카메라 제어를 위한 컴퓨터 부분 송수신 회로도

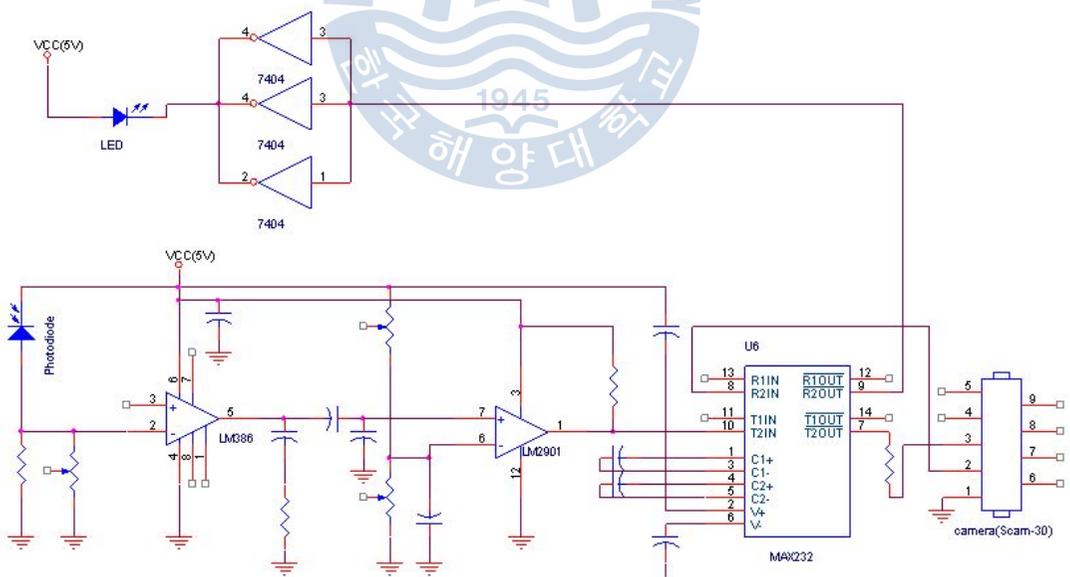


그림 31. 정지화상 캡처 및 전송을 위한 카메라 부분 송수신 회로도

### 3.3.2 실험 및 결과

그림 32는 이미지 캡처를 하기 위한 데이터 통신절차이다. 촬영명령(TX) 부분은 컴퓨터에서 카메라를 제어하기 위한 신호로 카메라로 전송되는 부분이며, 수신단(RX)는 카메라에서 제어신호를 받아 ACK신호 전송 후 이미지데이터를 전송하는 부분이다. 컴퓨터에서는 그림 32의 A와 같은 Reset 신호를 전송한 후 D의 ACK 응답을 받고, B와 같은 촬영명령 신호를 전송한 후 F의 ACK 신호를 받는다. C의 데이터 프레임 크기를 읽는 신호를 전송한 후 G부분과 같이 ACK신호와 동시에 이미지 데이터를 전송받게 된다.

그림 33은 JPEG 데이터 수신이 끝난 후 Stop 신호를 받는 파형을 나타낸다. 카메라 에서 JPEG 신호 전송이 끝난 후 그림 33의 I와 같은 종료 신호를 보내게 되면 컴퓨터에서는 종료 신호를 받아 J 부분과 같은 Stop 신호를 보낸 후 수신단 K의 ACK신호를 받은 후 카메라 촬영을 종료한다. Stop 신호의 ACK인 K까지 종료가 되면 모든 촬영이 종료된다. 새로운 촬영을 할 때에는 그림 30과 같이 촬영명령 신호를 다시 보내면 새로운 촬영이 진행된다.

그림 34는 LabView 프런트 패널에서의 광 이미지 전송 시스템의 결과를 보여준다. 프런트 패널에서 COM2포트와 38400bps의 속도로 통신하도록 설정한 후, Capture 버튼을 눌러 통신을 시작한다. 카메라에서 캡처된 이미지는 digital video processor인 VC0706을 통해 JPEG 압축되어 시리얼 형태로 LED를 통해 컴퓨터의 수신기로 전송되고 LabView 프로그램을 통해 이미지형태로 복구되어 Load Image부분에서 확인할 수 있게 된다. 실험 결과 광무선 기반 정지화상 전송 시스템에서는 데이터 량이 많은 이미지 전송이 가능함을 보여주고 있다. 또한 이 결과에 따라 가시광무선통신 시스템에서 이미지 전송, 나아가 동영상과 같은 대용량 데이터 전송이 가능할 것이라 예상된다.

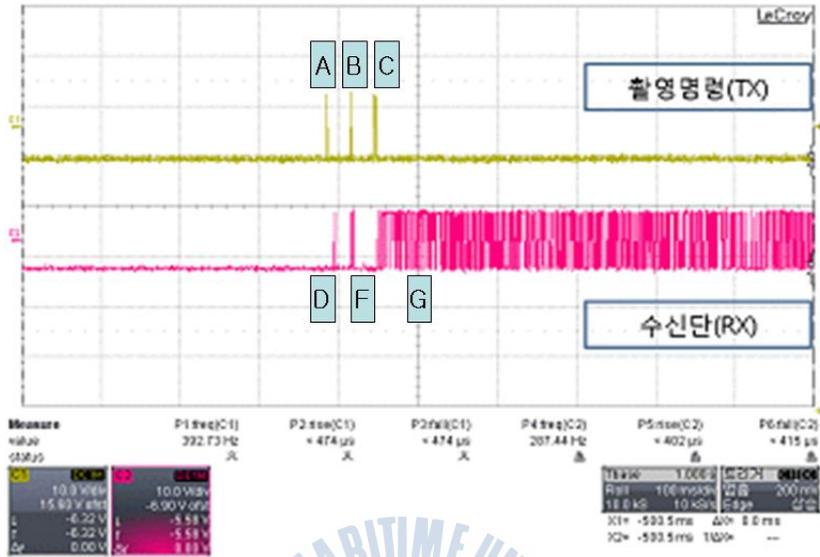


그림 32. 이미지 캡처를 위한 데이터 통신 신호 파형

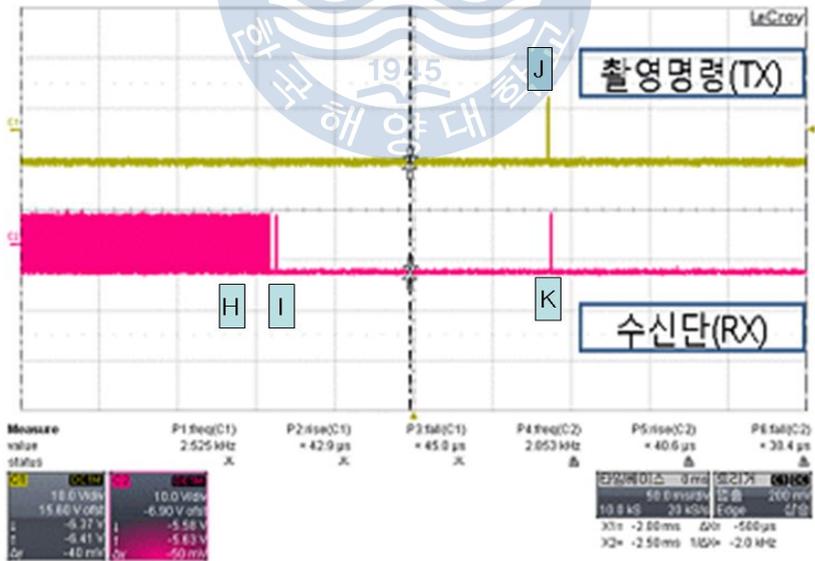


그림 33. JPEG 데이터 수신 신호 및 Stop 신호 파형

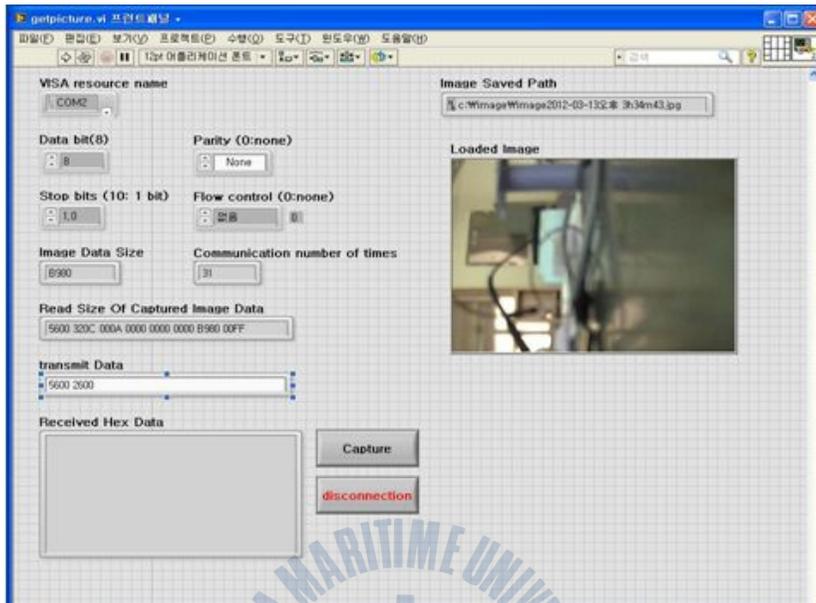


그림 34. 정지화상 전송 결과



## 제 4 장 결 론

본 논문은 융합기술시대의 가시광 무선 통신 기술의 발전 가능성에 가치를 두고 LED 조명기술과 통신기술을 융합하여 LED 조명을 이용한 가시광통신 시스템에 대한 연구 및 개발 그리고 실험 결과에 대해 기술하였다.

본 논문에서는 첫 번째, 주파수 변조 기반 오디오 전송 가시광무선통신시스템을 구축하였다. 실험결과 수중에서 주파수가 변조된 오디오 신호가 가시광무선통신을 통해 성공적으로 통신이 됨을 알 수 있다. 또한 가시광무선통신을 위한 성능 실험으로서는 포토다이오드의 개수가 적에 짐에 따라 또는 매질이 공기나 물 일 때 보다 해수에서의 통신성능이 떨어짐을 알 수 있다. 이 결과에 따라 통신성능을 증가시키기 위해 포토다이오드의 개수를 늘려 빛을 더 많이 받아 민감도를 향상시키는 방안이 생길 것이다. 또한 수중에서 통신을 하기 위해서는 공기나 물 같은 다른 매질과는 다르게 광원의 세기를 높이거나 민감도를 향상시켜 통신성능을 증가시키는 방법이 필요함을 알 수 있다. 위 실험을 통해 가시광무선통신이 수중환경에서 사용될 때 보다 나은 통신을 위한 조건을 제시하였다. 두 번째로는 광무선 기반 정지화상 전송 시스템을 기술 하였다. 정지화상 전송을 위해 LabView 프로그램을 적용하여 카메라를 제어하는데 사용하였고, 38400bps의 속도에서 성공적으로 정지화상이 전송되는 것을 확인 할 수 있었다. 광무선 기반 정지화상 전송 시스템에서는 이미지 전송, 나아가 동영상과 같은 대용량 데이터 전송이 가능함을 보여주고 있다.

LED 가시광무선통신기술의 경우 국내외에서 연구가 활발히 진행 중이며 표준화를 위한 방안도 진행되고 있는 새로운 융합 통신 기술이다. 그러나 가시광무선통신을 하기 위한 통신 환경의 변화에 따른 연구 자료는 많지 않아 지속적인 연구가 진행될 필요가 있다. 또한, 이미지나 동영상 같은 데이터 량이 많은 정보 전송에 대한 연구도 활발히 연구하여 기술경쟁력을 확보할 필요가 있다.

가시광무선통신은 LED조명 인프라의 확산에 따라 새로운 부가 가치를 낼 수 있는 성장가능성을 가진 기술이다. 본 논문의 연구결과가 가시광무선통신 기술을 응용 할 수 있는 새로운 부가 통신 서비스로 발전할 수 있기를 기원한다.



## 참 고 문 헌

- [1] 김대호, 임상규, 강태규, “LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델”, 한국통신학회지, 제 26권, 제5호, pp. 3-9, 2009.
- [2] 강태규, “LED 산업과 통신 산업 융합 미래기술 발전전략, TTA Journal, No.123, pp. 12-17, 2009.
- [3] VLC 정보통신 중점기술 표준화 로드맵 Ver. 2010.
- [4] <http://www.jct-omega.eu>
- [5] <http://www.ieee802.org/15/pub/IGVlc.html>
- [6] 강태규, “LED 조명을 융합한 가시광 무선통신에 대한 국제표준 박차”, TTAICT Standard Weekly, 2010.
- [7] 황명근, “LED 조명 산업기술 동향” LED조명산업과 통신산업 융합 가시광 무선통신 표준기술 워크숍, pp. 21-26, 2008.
- [8] 정완영, 서용수, 김종진, 권태하, “LED 가시광통신시스템과 그 응용”, 한국해양 정보통신 학회 논문지, 제14권, 제6호, 2010.
- [9] 강태규, LED 빛으로 통신하는 가시광 무선통신 기술 소개”, LED산업 및 최신기술동향Ⅱ, 전자부품, 10월호, pp. 42-45, 2009.
- [10] 임상규 외, “LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향”, 전자통신 동향분석, 제25권, 제4호, pp. 38-47, 2010년.
- [11] Visible Light Communications Consortium, [www.vlcc.net](http://www.vlcc.net), 2008.
- [12] Y. Tanaka, et al, "Indoor Visible Communication utilizing Plural WhiteLEDs as Lighting", *PIMRC*, vol.2, pp. 81-85, 2001.
- [13] M. Z. Afgani, et al, "Visible Light Communication Using OFDM", *IEEE Trentcom*, vol.6, pp. 134, 2006.

- [14] Navin Kumar, Vuno Lourenco, Michal Spiez, Rui L Aguiar, "Visible Light Communication Systems Conception and VIDAS", *Portuga*, vol. 25, pp. 356-367, 2008.
- [15] 강태규, "가시광 무선통신 융합 기술", LED 융합 가시광 무선통신(VLC) 표준 기술 워크숍, 2008.
- [16] Tae-Gyu Kang, "A vehicle applications on Visible Light Communications", *IEEE 802.15 VLC SG*, ICT standard loadmap.1, pp. 1-5, 2008.
- [17] 강태규, "TTA 가시광통신서비스 실무반 표준활동" 가시광무선통신 멀티미디어 표준기술 워크숍, pp. 410-466, 2007.
- [18] 원은태, "가시광통신국제표준동향" 가시광무선통신 멀티미디어 표준기술 워크숍, 2007.
- [19] 조동호, "가시광무선통신MAC 모델규격작성제안", PG 402-003, 2007.8.30
- [20] N.Farr, A.D. Chave, L.Freitag, J. Preisig, S.N.White, D.Yoerger, and F.Sonnichsen, "Optical Modem Technology for Seafloor Observation", *IEEE OCEANS*, pp. 1-6, 2006.
- [21] Lanbo Liu, Shengli Zhou, and Jun-Hong Cui, "Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor network", *WILEY wcmc special on underwater sensor networks*, pp. 1-24, 2008.
- [22] Shlomi Arnon, "Underwater optical wireless communication network", *Optical Engineering* 49(1), *IEEE OCEANS*, 2010.
- [23] William C. Cox, Jim A. Simpson, Carlo P. Domizioli, John F. Muth and Brian L. Hughes, "An Underwater Optical Communication System Implementing Reed-Solomon Channel Coding", 2008

- [24]Wang Rui, “Indoor optical wireless communication system utilizing white LED lights” , *Proceeding APCC'09 Proceedings of the 15th Asia-Pacific conference on Communications*, pp. 565-569, 2009.
- [25] 김연주, 이희진, 손경락, “근거리 수중 광무선 통신을 위한 주파수 변조 기반 오디오 전송 시스템 연구” ,한국마린엔지니어링학회지, 제 36권, 제1호, pp. 166-171 , 2012.
- [26] 김연주, 이희진, 손경락, “주파수 변조를 이용한 근거리 수중 가시광 무선 통신 시스템” 한국광자기술학회, pp. 166-171, 2011.
- [27] 이희진, 김연주, 손경락, “LED가시광통신과 전력선이더넷인터페이스 기반의 광무선 네트워크” 한국광자기술학회, pp. 160-165. 2011.



## 감사의 글

먼저 26년간 저를 길러주시고 믿어주셨던 김종태, 운영희 부모님과 저의 하나뿐인 동생 김성모에게 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 한국해양대학교에 입학 하여 졸업까지 많은 가르침을 주신 전자통신공학과 손경락 교수님, 김기문 교수님, 양규식 교수님, 이상배 교수님, 임재홍 교수님, 박동국 교수님, 심준환 교수님, 김정창 교수님께 감사드립니다. 대학원 생활동안 저를 지도해 주셨던 지도 교수 손경락 교수님, 논문을 지도해주신 심사위원장 박동국 교수님, 심사위원 김정창 교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.

한국해양대학교와 대학원에 입학하여 졸업하기까지 즐겁고 힘들고 복잡했던 많은 일을 겪었고 그로인해 많은 것을 배웠습니다. 저의 입학과 졸업까지 함께한 B분반 동기들, 많은 것을 가르쳐 주셨던 이희진 선배님, 광통신 실험실에서 함께 지낸 김성호, 손창우, 항상 옆에서 큰 힘이 되어준 배병민, 고마운 전남희 언니, 엠앤디 식구들, 전자통신공학과 주현진 조교님과 선,후배님들 저를 지켜봐주신 모든 분들께 감사드립니다.

항상 감사하는 마음으로 늘 처음처럼 노력하는 사람이 되겠습니다. 다시 한번 모든 분들께 감사드립니다.