

工學碩士 學位論文

광무선 센서네트워크를 위한
전력선통신기반 가시광통신 시스템 구현

Visible Light Communication System For Optical Wireless
Sensor Networks Based on PLC-Ethernet Interface



指導教授 孫慶洛

2012年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

李熙珍

工學碩士 學位論文

광무선 센서네트워크를 위한
전력선통신기반 가시광통신 시스템 구현

Visible Light Communication System For Optical Wireless
Sensor Networks Based on PLC-Ethernet Interface



2012年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

李熙珍

本 論文을 李熙珍의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 양규식 인

위원 손경락 인

위원 김정창 인



2011年 12月 23日

韓國海洋大學校 大學院

감사의 글

한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정을 무사히 마칠 수 있도록 지난 2004년 학부과정으로 입학 했을 때부터 끊임없이 많은 가르침을 주신 전자통신공학과 손경락 교수님, 양규식 교수님, 이상배 교수님, 임재홍 교수님, 박동국 교수님, 심준환 교수님, 김정창 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

본 논문이 완성되기까지 가르쳐주신 지도교수 손경락 교수님, 심사위원장 양규식 교수님, 심사위원 김정창 교수님께 다시한번 감사의 말씀을 드립니다.

아울러 한국해양대학교와 도쿠시마대학간의 복수학위 과정에서 지도해 주신 Hashizume 교수님, Yotsuyanagi 교수님께 감사드립니다. 그리고 복수학위의 기회를 주신 김윤해 교수님, Hanabusa 교수님께 감사드립니다. 또한 많은 지원을 해 주신 Asada 님, Yamanishi 님, Yoshino 님 에게도 감사의 말씀을 드립니다.

실험실에서 함께 공부하고 연구하며 도와준 전자통신공학과 광통신 실험실의 김연주, 김성호, 손창우 후배에게도 고마움을 표합니다.

마지막으로 지금까지 길러주신 이상훈, 강영혜 부모님께 감사합니다.

본 논문의 연구는 한국연구재단(Grant No: 2010-0005454)의 지원으로 진행되었습니다.

목 차

Abstract	1
1장 서론	2
2장 가시광 통신	5
2.1 LED의 특성	5
2.2 가시광통신의 원리	6
2.3 가시광통신의 장점	10
3장 전력선기반 가시광센서네트워크	12
3.1 전력선통신의 원리 및 장점	12
3.2 네트워크의 구조 및 흐름	15
3.3 회로구성 및 주요부품	19
3.4 데이터프레임 구조 및 프로토콜 변환	23
4장 실험 및 결과	28
4.1 실험설정 및 환경	28
4.2 통신실험 및 결과	29
4.3 응용프로그램 및 결과	33
4.4 자동 광 세기 검출기(AOD)	34
5장 결론	46
참고문헌	48
부 록	51

ABSTRACT

Recently, the semiconductor technology has improved remarkably by many researchers. And there are many remarkable advanced technologies of LED(Light Emitting Diode) for illumination. LED offers quite advantageous properties such as low power consumption, reliability, long lifetime and non-Mercury. The LED is the most adaptable light source in present and next generation which replace to incandescent and fluorescent light.

Also, The LED is a good source for visible light communication by its performance as short switching time. If the LED is controled with switching over 100 times in a sec, the human eye can't see its blinking. And it is possible to use the LED illumination in communication.

There are many researches for LED visible light communication at companies, universities and research organizations. Also I research the visible light communication in an area of sensor network.

In this paper, It is presented a white LED-based optical wireless communication systems for indoor ubiquitous sensor networks. Each sensor node could access to the server through the PLC(Power Line communication) - Ethernet interface. The proposed system offers a full-duplex wireless link by using different wavelengths to reduce the inter-symbol interference between uplink and downlink. Through the 1-to-n optical wireless sensor network and PLC modem, the mobile terminals send a temperature data to server. The data transmission speed and distance are 115.2kbps and about 60cm. The AOD(Auto optical detector) is applied in this system which improve a performance of communication distance. The communication distance is improved to maximum 1.9m when 'AOD' is applied to system.

제 1 장 서론

예로부터 인류는 빛을 이용한 통신을 하고자하는 노력을 해왔다. 그림 1-1과 같이 1880년에 알렉산더 그레이엄 벨은 본인의 음성진동을 거울과 태양광을 이용하여 약 200m 떨어진 곳까지 전달하였다[1].

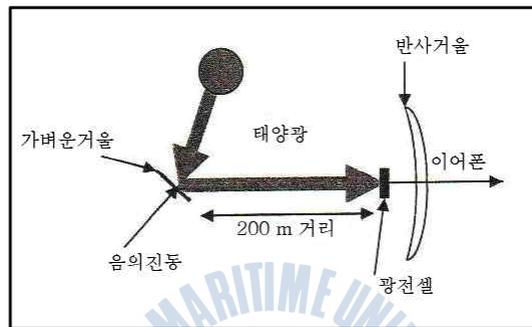


그림 1-1. 알렉산더 그레이엄 벨의 Photophone의 개념도

그리고 제 2차 세계대전 중에는 선박의 서치라이트를 점멸시켜 모스 통신을 했었다고 한다. 이후에도 인류는 빛을 이용하여 통신을 하고자 많은 노력을 하였지만 백열등이나 형광등과 같이 반응속도가 느린 광원(光源)의 한계로 인하여 레이저를 이용한 유선 광통신이나 무선 적외선통신 등 제한된 범위에서만 발전을 할 수 밖에 없었다.

최근에 급속도로 반도체 기술이 발달하면서 LED(Light Emitting Diode)가 차세대 광원으로 주목받고 있다. LED는 백열등 대비 약 90% 높은 전력 효율, 수 만 시간의 긴 수명, 저 탄소배출 및 수은이 함유되어있지 않다는 장점을 지니고 있다[2]. 에너지 효율이 높고 친환경적이면서 차후 폐기물 처리에도 용이한 점에서 정부도 LED보급 확대를 위한 정책을 실행하고 있다. 정부는 2007년 2월에 2015년까지 전체조명의 30%를 LED로 대체한다는 1530 프로젝트를 발표하고 실행 중에 있다[3].

뿐만 아니라 LED는 반도체로 만들어진 광원으로 반응속도가 형광등과 백열등에 비교하여 볼 때 매우 빠르기 때문에 제어에 매우 용이한 장점을 지니고 있다[4]. 이는 LED를 조명과 동시에 가시광을 이용한 통신에 이용할 수 있다는 것을 의미한다. 그동안 빠른 반응속도를 가진 광원의 부재로 주목받지 못했던 가시광을 이용한 통신이 LED의 개발과 함께 주목받고 있고, 세계 곳곳에서 연구를 진행 중에 있다[5].

우리나라에서도 이러한 LED조명을 이용한 새로운 어플리케이션 개발의 중요성이 부각되면서 ETRI(한국전자통신연구원)에서 LED조명을 이용한 음성신호 전송기술 등을 개발하였다[6]. 이렇게 조명을 이용한 통신기술을 가시광 무선 통신기술이라고 한다.

가시광 무선통신 기술은 1998년 일본 케이오대학 이공학부의 나카무라 교수에 의해 처음 제안되었고 유럽에서는 오메가(OMEGA) 프로젝트라는 이름으로 연구가 진행되고 있다[7-9]. 가시광 무선통신 기술은 조명의 기능과 동시에 무선통신이 가능하다는 것이 가장 큰 장점이라고 할 수 있고 전파와 관련하여 주파수할당문제나 유해전자파 등의 문제와 전혀 관련이 없다는 것도 장점이라고 할 수 있다[10].

가시광 무선통신 기술은 아직 개발단계에 있으며, 그 기술의 표준화가 현재에도 활발히 진행되고 있다. 그렇기 때문에 가시광 무선통신 기술 개발에 따른 산업적 부가가치는 매우 크다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 앞으로 LED의 시장 규모가 점점 더 커질 것이라는 예측을 통해서도 가시광 무선통신 기술의 미래 가치가 매우 커질 것이라고 할 수 있다[11].

본 논문에서도 위와 같은 조명기술의 발전과 증대되는 수요, 그리고 가시광 통신기술의 미래 가능성에 가치를 두고 전력선 통신기술과 가시광 무선통신 기술을 융합하여 LED조명을 이용한 새로운 형태의 센서네트워크를 구축하고 실험하였다. 본 논문에서 보여주는 시스템은 필요에 따라 다양한 형태로 옥내에 적용할 수 있는 센서네트워크의 모델을 제공할 수 있다는 것에 의미를 두고 있다.

본 논문에서는 1:2 양방향통신으로 약 60cm의 통신거리에서 최대115.2kbps의 전송속도를 가진 센서네트워크를 제작하고 실험하였다. 시스템에는 온도센서를 적용하여 요청에 따라 단말기에서 온도를 측정하고 구축된 네트워크를 경유하여 서버로 전달한다. 그리고 자동 광세기 검출기(Auto Optical Detector: AOD)를 이용하여 보다 정밀하고 정확하게 광 신호를 수신하여 통신 가능거리를 최대 1.9m 까지 향상시키고 있다.

본 시스템에서 하향 전송의 경우는 송신을 위해 일반적으로 시판되고 있는 백색 LED스탠드를 사용하였으며, 상향 전송의 경우는 코덴시(KODENSHI)사의 적외선 발광 다이오드인 'EL-1KL3'을 사용하고 있다. 수신을 위한 광 검출기는 공통으로 오스람(OSRAM)사의 'SFH213(-FA)'를 사용하여 제작하였다.



제 2 장 가시광 통신

2.1 LED의 특성

반도체 광원은 반도체 다이오드에 순방향의 전류를 흘리면 n형 반도체의 전자가 p형 반도체의 정공(Hole)과 p-n접합 부분에서 재결합(Recombination)하면서 빛이 발생하게 되는데, 이러한 빛의 발생 원리를 이용하는 광원을 말하는 것으로 크게 레이저 다이오드(Laser Diode: LD)와 발광 다이오드(LED) 두 종류가 있다.

LED는 반도체 p-n접합소자로 전기신호가 인가되면 빛을 발산하여 전기에너지를 빛에너지로 바꿔주는 발광반도체로서 실리콘 반도체와 달리 빛을 낼 수 있는 화합물 반도체이며, 화합물 반도체의 조성비를 조절함으로써 다양한 색상 구현이 가능하여 그 사용용도가 매우 다양하다. 최근에는 LED를 조명에 적용하고자 하는 각국의 노력이 에너지 위기 시대와 맞아 활발하게 진행되고 있으며 이를 이용한 가시광 통신 또한 관심을 받고 있다[12,13].

백열전구의 경우 전력의 10%만을 빛으로 전환시켜 사용하는데 반해 LED 광원은 90%를 빛으로 변환시켜 전력 소모가 백열전구에 비해 현저히 낮아 고유가시대에 적당한 차세대 조명용 광원으로 기대되고 있다[14]. 또한 각 광원별 수명은 백열전구 1,000시간 내외, 형광등 10,000시간 내외, LED 40,000-100,000시간 정도이며 이후 기술 개발과 더불어 LED의 수명은 반영구적으로 될 것으로 전망되어 다른 광원과 비교할 수 없는 좋은 광원이라고 할 수 있다[15].

기존 광원이 수은과 납 등의 중금속을 사용하지만, LED는 기존 광원에서 사용하는 중금속을 사용하지 않는 RoHS(Restriction of Hazardous Substances) 규제를 따르고 있어 친환경적인 광원이다[16].

2.2 가시광통신의 원리

최근에 가시광 통신(Visible Light Communication: VLC)에 대한 관심이 선진국인 미국, 일본, 영국 등을 중심으로 높아지고 있다. 가시광 통신이란 사람의 눈에 보이는 가시광 영역을 이용한 통신으로서, 백열전구와 형광등과 같은 사람의 눈에 보이는 조명이 디지털 반도체인 반도체 발광다이오드 조명으로 교체되는 인프라를 사용하여 정보를 각 객체에 전송하고 이를 재이용하는 새로운 정보통신기술이다[17]. 즉 가시광통신 기술은 가정의 조명기기, 옥외광고 표시, 교통신호, 각종 기기의 디스플레이 등에서 나오는 가시영역 (380~780nm), 또는 근적외선(700~2500nm)영역을 포함하는 빛을 이용하여 정보를 전송 및 교환하는 기술로 기존의 유선광섬유를 통한 광통신 기술과는 차별화된 새로운 광무선 기술이로서 가시광 무선통신 PHY(Physical Layer Protocol) 기술, 가시광 무선 통신 L2MAC(L2 Media Access Control) 기술, 가시광 무선통신 응용 프로토콜 기술 등이 여기에 포함된다[18,19]. 가시광통신은 광통신 중에서도 사람의 눈으로 볼 수 있는 광을 이용한 통신이다. 가시광 영역은 인간의 눈으로 바라보는 광의 영역으로 파장은 380nm에서 780nm 사이에 존재한다.

LED 가시광통신원리는 그림 2-1에서와 같이 LED와 포토다이오드(PD)의 깜박임을 이용한 송수신을 기본 원리로 하여 조명 기능을 가지고 있으면서 동시에 통신을 수행할 수 있는 것이다. 일반적으로 전기에서 빛으로 바꾸는 속도가 약 30ns-250ns의 매우 빠른 시간이 필요하며, 조명용 통신은 이와 같이 빠른 온-오프 스위칭을 통한 통신 변조를 이용하여 통신할 수 있다. 사람의 눈은 초당 100번 이상 깜박이면 깜박임을 인식하지 못하는 것으로 알려져 있어서 매우 짧은 시간에 전기를 빛으로 바꾸는 깜박임(온-오프)이 발생하여도 인간은 시각적 인식능력의 한계로 인하여 계속적으로 켜진 것으로 인식하기 때문에 조명의 기능도 유지된다[20,21].

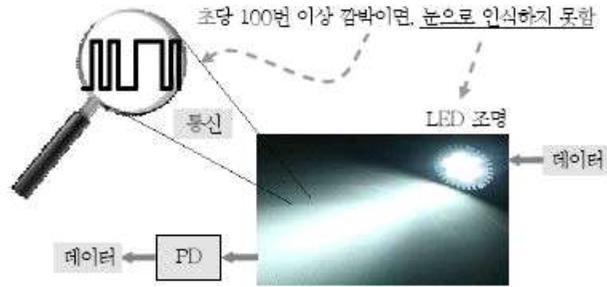


그림 2-1. 가시광 무선통신의 원리

광 검출기(Photo Diode: PD)는 LED와 상대적으로 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기능을 갖고 있다[21,22]. 광 검출기는 보통 광자의 흡수에 의한 자유 전자정공 쌍의 생성에 의해 동작한다. 광 검출기는 특성에 따라 최적적으로 감지할 수 있는 빛의 파장이 있기 때문에, LED와 함께 통신의 목적으로 사용하는데 있어서, 사용하는 LED가 발생시키는 파장에 가장 적합한 감지 파장대를 가진 광 검출기를 사용하는 것이 이상적이라고 할 수 있다. 또한 광 검출기는 빛을 전기적 신호로 바꾸는데 있어서 반응 시간이 존재하기 때문에 감지할 수 있는 주파수가 제한되어있다. 따라서 고속 유선통신 등과 비교할 때 전송속도 면에서 성능이 제한 될 수 있으나 조명의 기능과 함께 통신을 가능하게 한다는 큰 장점이 있다.

광 검출기와 LED는 모두 다이오드의 특성에서 나오기 때문에 물리적 특성이 비슷하므로 최근에는 조명 통신을 위하여 LED와 포토다이오드를 하나로 구성하여 동시에 제공하는 제품도 있다[23]. 본 논문에서는 송신기로는 일반 백색 LED를, 수신기로는 오스람사의 'SFH213(-FA)' 광 검출기를 사용하였다.

그림 2-2는 가시광 통신의 간단한 예시를 나타내고 있다. 가정 내의 여러 방에는 조명용 램프가 설치되어 있는 것이 보통이며 이 광을 변조시킴으로서 TV, 오디오, PC, 가전제품 등에서의 데이터 통신이 가능하다.

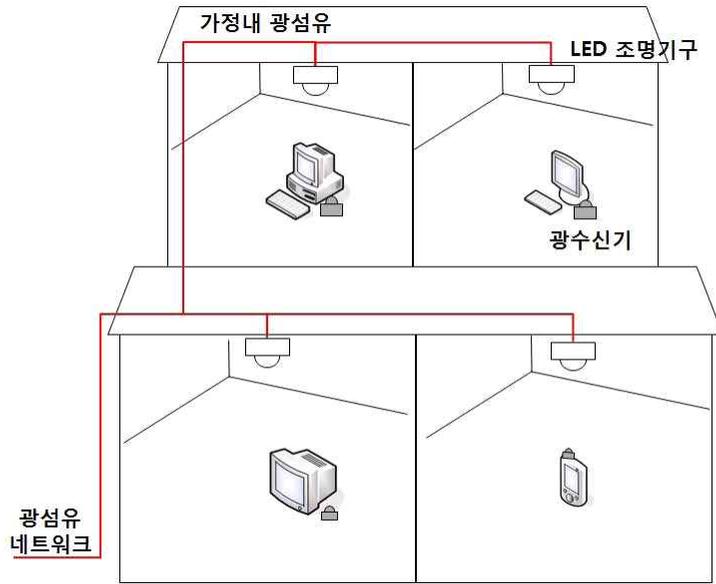


그림 2-2. 가정 내의 가시광 통신 구조

현재 무선 LAN(Local Area Network)으로 고속 통신을 실현할 수 있는 가능성이 있다. 가시광통신방식은 무선 LAN 보다도 비밀이 보장되는 통신이 가능하며, 방에서 송신하는 데이터를 변화시킬 수 있다. 또한 커튼을 사용하여 외부로 데이터가 나가는 것을 막을 수도 있다. 방과 방 사이는 빛이 차단되어 있어서 다른 방 사이의 통신은 광 이외의 통신 수단이 없으므로 앞으로 FTTH(Fiber To The Home)가 보급되면 가정 내의 모든 기구를 광섬유 통신으로 고려할 수 있다[24]. 또 조명 기구는 방 전체를 비추는 일 뿐만 아니라 보다 작은 면적을 비추는 전기스탠드나 다운 라이트와 같은 것도 있다.

그림 2-3은 이와 같이 작은 면적을 비추는 전기스탠드를 이용한 가시광 통신의 프로토타입 모델이다[25]. 이는 작은 면적을 이용하여 통신을 행하기 때문에 방 전체를 무선 LAN 사용하지 않고 핫스팟 형식으로 영화 등의 대량 데이터의 다운로드를 하는데 이용할 수 있다.



그림 2-3. 전기스탠드를 이용한 가시광 통신 프로토타입 모델

이 시스템의 가장 큰 특징은 그림 2-4에 나타내었으며 이는 전력선 통신과의 조합으로 구성되었다. PC로부터 데이터는 전력선을 경유하여 전기스탠드에 다다르며 여기서 가시광을 변조하는 공간으로 날아가 수신측의 PC로 데이터를 받는 순서로 진행함으로써 데이터 전송용 배선을 설치하는 일없이 기존의 전력선으로 배전과 데이터 전송의 두 가지 방법을 수행할 수 있다.

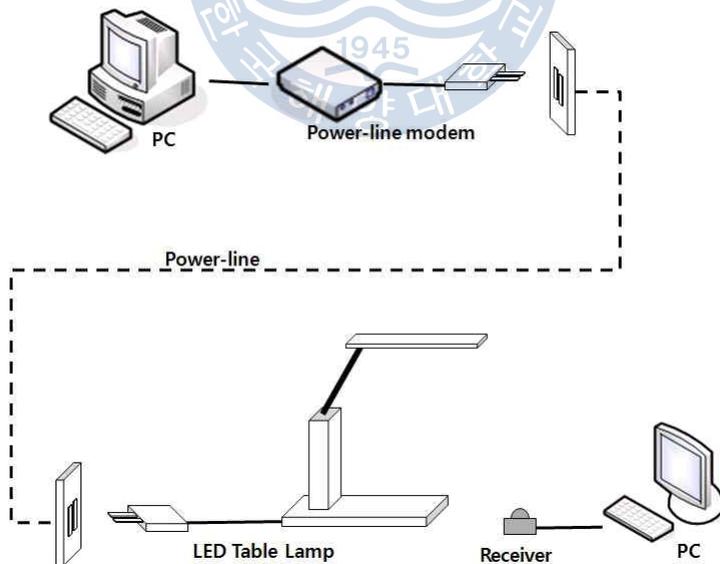


그림 2-4. 전력선 통신과 가시광통신을 연계한 형태

2.3 가시광통신의 장점

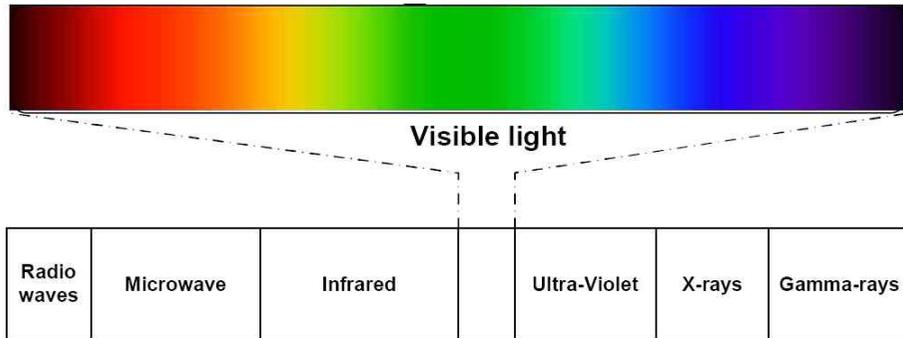


그림 2-5. 파장에 따른 명칭과 가시광 영역

가시광 영역은 그림 2-5에서 보는 바와 같이 적외선과 자외선 사이의 인간의 눈으로 확인 할 수 있는 영역이다[26]. 가시광의 파장을 주파수로 환산하면 대략 385THz ~ 789THz에 해당한다. 일반적으로 사람의 귀로 들을 수 있는 가청(오디오) 주파수 대역은 20Hz - 20kHz, 적외선 파장을 사용하는 IrDA(Infrared Data Association), 2.4GHz 대를 사용하는 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11n, 802.15.1, Bluetooth, IEEE 802.15.3c, 802.15.4, ZigBee, UWB(Ultra Wide Band) 및 60GHz통신 등이 있다. 가시광 무선통신은 870~900nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만, 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며 장점이다. 현재 국내뿐만 아니라 세계적으로도 한정된 주파수 자원에 대한 수요가 민간 뿐 아니라 공공서비스 등의 전 분야에 걸쳐 확산됨에 따라 주파수 자원의 희소성이 가중되고 있고 무료사용 주파수 대역을 이용하는 통신이 많이 때문에 발생하는 데이터 전송의 혼선이 야기되는 문제가 발생하게 된다[27]. 또한 다른 주파수 대역은 사용 허가를 받아야만 사용이 가능하나 가시광은 사용 허가를 받지 않아도 된다는 중요한 특징을 가지고 있다.

Zigbee, UWB, RFID(Radio Frequency Identification)등의 무선 주파수기반의 통신은 주파수 회절, 반사가 되기 쉬워 통신 품질을 유지하기가 매우 어렵다[28]. 그러나 가시광통신은 RF(Radio Frequency) 주파수를 사용하는 기존의 통신과 혼선의 우려가 없는 것으로 알려져 있다.

현재 개발된 Zigbee, UWB, RFID 통신기반에서 사용하는 2.4GHz무선 주파수 대역은 물 분자의 고유주파수 대역으로 공진 현상을 일으켜 인체에 해로울 수 있으며, 비가 오게 될 경우 공기 중의 수분과 공진되기 때문에 통신이 되지 않은 문제가 발생하게 된다. 가시광기술은 기존의 무선 통신기술 (802.11b/g: near2.45GHz) 또는 RFID (860 MHz ~ 960 MHz and 2.45 GHz) 이 갖는 물 분자 반응성(Nature Resonance Frequency in Water: 915MHz and 2.45GHz) 이 없는 친환경 무선기술이다.

또한 가시광통신 및 통신 대역은 주로 인간 눈에 인지되는 빛을 이용하므로 데이터의 전송가능범위를 인지할 수 있으며, 전자파가 나오지 않아 인체에 무해한 친환경 기술이다. 이러한 인체 유해성 시비로부터 자유롭게 통신할 수 있어, 기존의 무선 주파수를 사용하는 근거리 통신 적용이 힘들었던 원자력 발전소 및 병원 등에 까지 활용영역을 넓힐 수 있게 된다[29].

가시광 통신은 가시광이 미치는 곳에서만 데이터 전송이 가능한 통신으로서 눈에 보이지 않는 곳에서 통신이 잘 되지 않는 문제점이 될 수는 있지만, 반대로 데이터 전송이 필요하지 않는 부분에 가시광을 비추지 않으며 되기 때문에 매우 높은 수준의 보안성을 가지게 되는 장점을 가진다. 또한 조명용 발광다이오드를 이용 시 국소지역에 국한된 서비스가 가능한 보안성이 뛰어난 기술이며, 전력선 기술 또는 기존 네트워크기술과의 연동이 용이하여 서비스 범위의 확장이 용이한 기술이다. 가시광 통신은 외부의 잡음이 거의 없는 통신으로 보안성이 매우 취약한 기존의 무선통신기반의 위치추적 및 인식 기술의 대안으로 부각 될 수 있으며 통신 링크를 눈으로 인지할 수 있어 도청 및 감청 여부를 직접 판단할 수 있다. 또한 통신이 이루어지는 동시에 빛의 즐거움을 느낄 수 있어, 새로운 엔터테인먼트의 잠재성도 지니고 있다[30].

제 3 장 전력선 기반 가시광 센서네트워크

3.1 전력선통신의 원리 및 장점

전력선통신(Power Line Communication: PLC)은 우리 주변에 광범위하게 설치되어 있는 전력선을 통신 매체로서 이용하는 통신 방식으로서, 단순 신호 전달 및 원격 제어에서부터 초고속 데이터 네트워크에 이르기까지 여러 응용분야에 활용될 수 있는 유선 통신 기술이다[31].

우리가 일상적으로 사용하고 있는 전기에너지는, 아주 특별한 경우를 제외하면, 모두 전력선이라는 매체를 통해 한 곳에서 다른 한 곳으로 전달된다. 즉, 전기에너지를 사용하고 있다면, 이미 그 곳에는 전력선이 존재한다고 해도 무리가 없을 정도로 현대 사회는 광범위한 전력선 인프라를 갖추고 있다. 전기에너지를 사용하기 위해 필수 불가결하게 이미 확보되어 있는 전력선을 정보 전달에도 활용하고자 하는 것이 전력선통신의 기본 개념이다.

그림 3-1은 전력선 통신의 원리를 나타낸다. 일반적인 발전설비 등에서 가정으로 공급되는 전력은 60Hz의 교류 형태로 공급된다. 전력선 통신은 이 교류 형태의 전원 파형에 변조된 디지털 신호를 인가하여 전송하고, 수신 단에서는 전원 파형은 제외하고 변조된 신호로부터 원 디지털 신호를 얻어낸다.

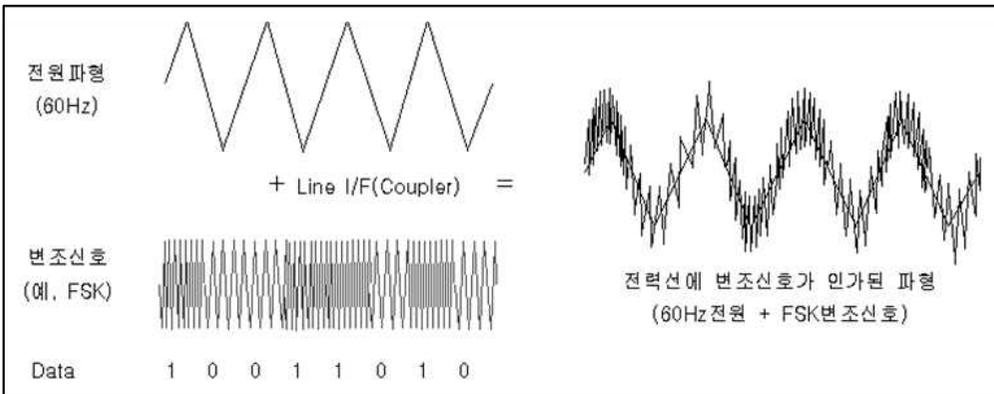


그림 3-1. 전력선 통신의 원리

전력선통신은 사용하는 신호의 주파수 대역에 따라 협대역 전력선통신과 광대역 전력선통신으로 분류된다. 주파수 대역의 경우 전력선통신 시스템의 표준에 따라 차이가 있을 수 있으나, 국내의 경우, 대략 9k~450kHz 대역을 사용하여 수 kbps급 통신 속도를 통해 각종 제어 신호 전송용으로 활용되는 저속의 저주파 전력선통신을 협대역 전력선통신 범주에 포함시키고 있으며, 대략 1M~30MHz 대역을 사용하여 수 Mbps에서 수백Mbps급 통신 속도를 통해 음성, 영상, 데이터 등 대용량의 멀티미디어 정보까지 전송할 수 있도록 하는 고속의 고주파 전력선통신을 광대역 전력선통신 범주에 포함시키고 있다.

또한, 전력선통신의 이용 형태에 따라 옥내(In-Home) 전력선통신과 옥외(Access) 전력선통신으로 분류하는데, 옥내 전력선통신은 주로 가정이나 사무실 등 건물의 내부에 설치되어 있는 110V 또는 220V 저압 전력선을 이용하며, 옥외 전력선통신은 변전소에서부터 주상 또는 지중 변압기까지의 가공 또는 지중 고압배전선로와 변압기로부터 저압의 인입선까지 연결되는 저압 전력선을 이용한다. 그림 3-2는 전력선 통신의 일반적인 구조를 나타낸다.

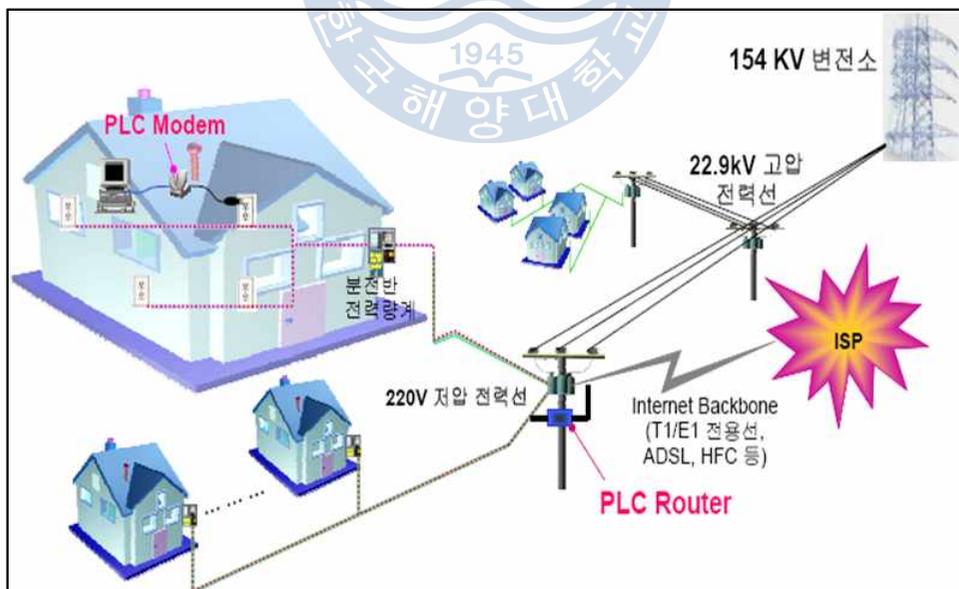


그림 3-2. 전력선 통신의 구조

전력선통신은, 이미 확보되어 있는 전력선을 이용하여 특별한 부가적 통신 선로의 설치 없이 저비용으로 통신망을 구축할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 최근 사용자에게 편의를 제공하는 다양한 무선통신 기술이 활발하게 사용되고 있지만, PC와 A/V 및 홈 네트워크에 활용되는 정보화 기기들에는 여전히 다수의 통신선이 연결되어 있어, 관리와 활용이 불편하다. 따라서 전력선과 통신선, 이 둘을 하나로 통합할 수 있는 전력선 통신의 형태는 매우 편리하다고 할 수 있다.

또한, 전력선통신은 광범위한 전력선 인프라를 바탕으로 유비쿼터스(Ubiquitous)를 실현할 수 있는 기술이라는 장점도 가지고 있다. 유비쿼터스란 ‘동시에 어디에나 존재하는, 편재하는’이라는 사전적 의미를 가진 말로서, 시간과 장소에 구애받지 않고 언제 어디서나 이용 가능한 미래의 정보통신 네트워크를 표현한다[32].

뿐만 아니라 이런 광범위한 전력선통신 인프라와 LED조명을 연계하여 전력선기반 가시광 통신 네트워크를 구축하게 되면, 기존의 통신 시설과 같이 오직 통신만을 위한 선로의 필요성이 사라지게 되어, 새로운 통신망을 구축할 때에도 선로 설치가 필요하지 않게 되어 시간과 비용절감 및 자원절약 효과를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 이런 전력선 인프라를 기반으로 한 가시광 센서네트워크를 개발하여 전력선통신의 장점과 가시광 통신의 장점을 더해 더욱 큰 효과를 만들어내고자 한다[33,34]. 3.2 절부터 본 논문에서 제안하고자 하는 시스템에 대해 설명하고 있다.

3.2 네트워크의 구조 및 흐름

본 연구에서는 광무선 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 전력선-이더넷 통신망을 기반으로 하는 새로운 형태의 가시광통신 시스템을 구성하였다. 그림 3-3은 구성된 네트워크의 구조를 간략하게 나타내고 있다.

모니터링 서버라고 불리는 컴퓨터는 시스템을 관리하거나 센서 데이터를 요청하고 수신 받는 역할을 하고 일반적인 윈도우 운영체제 환경의 개인용 컴퓨터이다. 이 컴퓨터는 라우터라고 불리는 네트워크 단말기에 연결되어있고 이 라우터는 전력선 모뎀과 연결되어 있다. 전력선 모뎀에서는 TCP (Transmission Control Procedure) 데이터를 전력선 통신 규격에 맞게 바꾸어 전력선을 이용하여 통신하도록 해준다.

'VLC Device [0]'은 전력선을 통해 들어오는 신호를 광 신호로 바꾸어주거나 반대로 광 신호를 전력선 신호로 바꾸어주는 역할을 하는 광 증계기 또는 광 접속점이다. 이 증계기는 광 송신을 위해 일반적인 백색 LED스탠드를 사용하고, 수신을 위해 오스람사의 'SFH213-FA'를 사용하고 있다.

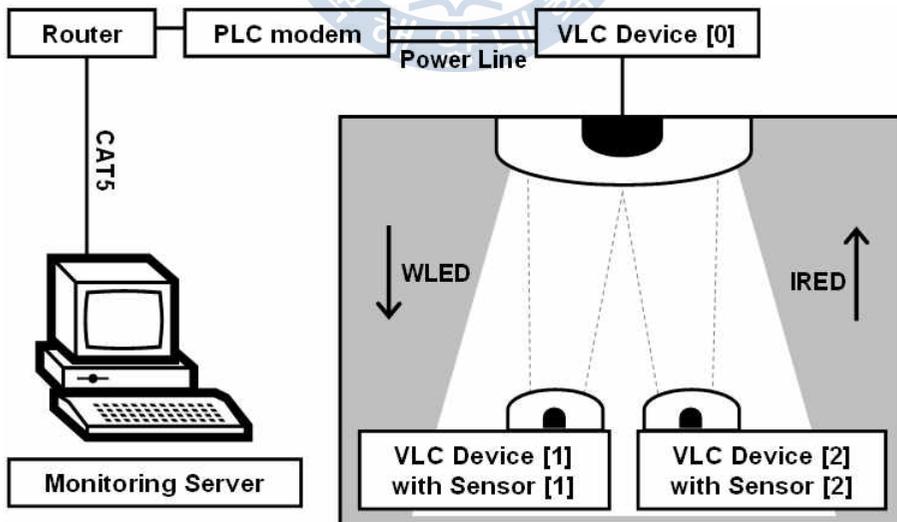


그림 3-3. 전력선 기반 가시광 센서네트워크의 구조

'VLC Device[1]'과 'VLC Device[2]'는 같은 기능을 가진 단말기이다. 광 접속점으로부터 광 신호를 수신 받아 요청데이터를 분석하고 ID를 확인한 후 자신에게 들어온 요청일 경우 온도센서를 통해 현재 온도를 측정하여 자신의 ID와 함께 광 신호로 데이터를 전송한다. 이 단말기는 송신을 위해 적외선 발광 다이오드인 KODENSHI 사의 'EL-1KL3'를 사용하고 수신을 위해 오스람 사의 'SFH213'을 사용하고 있다. 단말기의 송신 파장으로 적외선을 사용하는 이유는 단말기는 조명의 역할을 하지 않고 저 전력으로 동작하며 접속점에서 송신하는 백색 파장과와의 간섭을 피하기 위해서이다.

그림 3-4는 시스템의 하향전송 흐름을 나타낸다. 서버에서 온도센서 측정 및 데이터 반환을 요청하게 되면 연결된 라우터에서는 이 요청신호를 '전력선 모뎀1'로 전달하게 된다. '전력선 모뎀1'에서 '모뎀2'는 일반 가정용 전력인 220VAC 전력선을 통해 연결되어있고 이 전력선을 통해 요청신호가 전달된다. '전력선 모뎀2'는 전력선을 통해 수신 받은 요청신호를 이더넷 규격으로 변환하여 'E/S 컨버터'라고 불리는 시리얼-이더넷(이더넷-시리얼) 변환기로 전달하게 된다. 이더넷 신호는 이 변환기에서 다시 광 신호 전송에 유리한 시리얼 데이터로 변환된다. 변환된 시리얼 데이터는 인버터로 구성된 드라이버를 통해 LED스탠드를 이용하여 백색 가시광 신호로 전달된다. 이 백색 가시광 신호를 포토다이오드(PD)라는 광 검출기가 수신하여 다시 전기적 신호로 변환한다. 전기적 신호는 비교기를 이용하여 왜곡과 잡음을 보정하고 보다 완벽한 시리얼 데이터로 변환하게 된다. 이 시리얼 데이터는 마이크로프로세서로 전달되어, 마이크로프로세서는 정의된 프로그램에 따라 요청 데이터에 포함된 ID를 식별하여 자신의 ID 인지 확인하게 된다. 자신의 ID로 들어온 요청이 맞을 경우에 온도센서로부터 현재 온도를 측정하여 데이터화 한 후, 자신의 ID와 함께 하나의 프레임으로 만들게 된다.

그림 3-5는 시스템의 상향전송 흐름을 나타낸다. 온도센서를 이용해 측정된 데이터는 앞에서 언급했듯이 마이크로프로세서에서 자신의 ID와 함께 프레임이 된다. 이 데이터는 인버터 드라이버를 통해 적외선 발광 다이오드를 이용하여 광 신호로 전송된다. 이 적외선 광 신호를 포토다이오드가 수신하여 다시 전기적 신호로 변환한다. 전기적 신호는 증폭기를 이용하여 약 20배가량 증폭한 후 비교기를 이용하여 왜곡과 잡음을 보정하고 보다 완벽한 시리얼 데이터로 변환하게 된다. 하향전송의 경우와 달리 증폭기를 사용하는 이유는 ‘Device[1]’ 및 ‘Device[2]’는 단지 2개의 적외선 다이오드를 이용하여 광 신호를 전송하고 저 전력으로 동작하기 때문에 그 신호의 세기가 매우 약하다. 그렇기 때문에 포토다이오드가 수신하는 신호도 매우 미약하며 이 신호로부터 원 신호를 복원하는 것은 매우 힘들다. 때문에, 비교기를 이용하여 신호를 복원하기 전에 증폭기를 사용하여 복원에 유리하도록 해 주는 것이다. 복원된 시리얼 신호는 시리얼-이더넷(이더넷-시리얼) 변환기를 이용하여 이더넷 신호로 변환된다. 변환된 이더넷 신호는 전력선 모뎀2를 이용하여 전력선 통신규격의 신호로 변환되며, 전력선을 경유하여 ‘전력선 모뎀1’까지 전달된다. ‘전력선 모뎀1’은 전력선을 통해 신호를 수신 받아 이더넷 신호로 변환하게 되고 이 신호는 라우터를 경유하여 서버 컴퓨터까지 전달되고 서버 컴퓨터에서는 프로그램을 통하여 온도를 표현하게 된다.

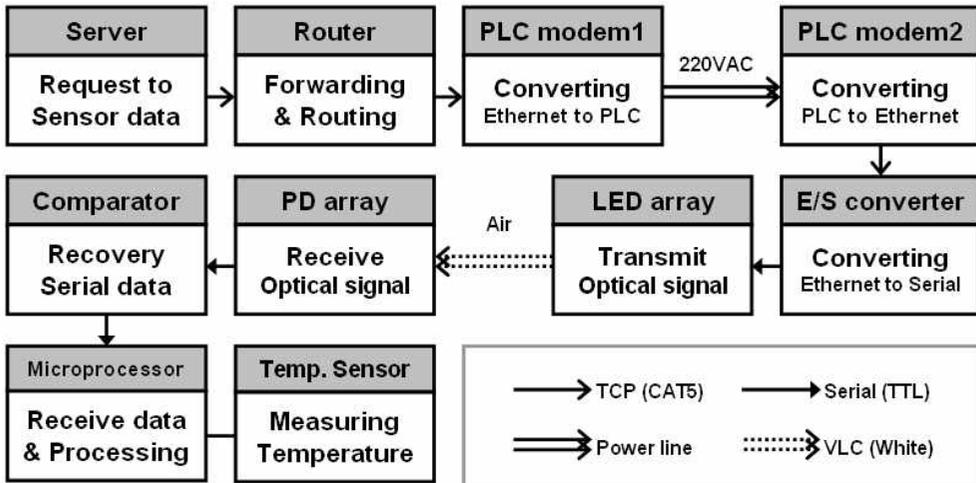


그림 3-4. 시스템의 하향전송 흐름

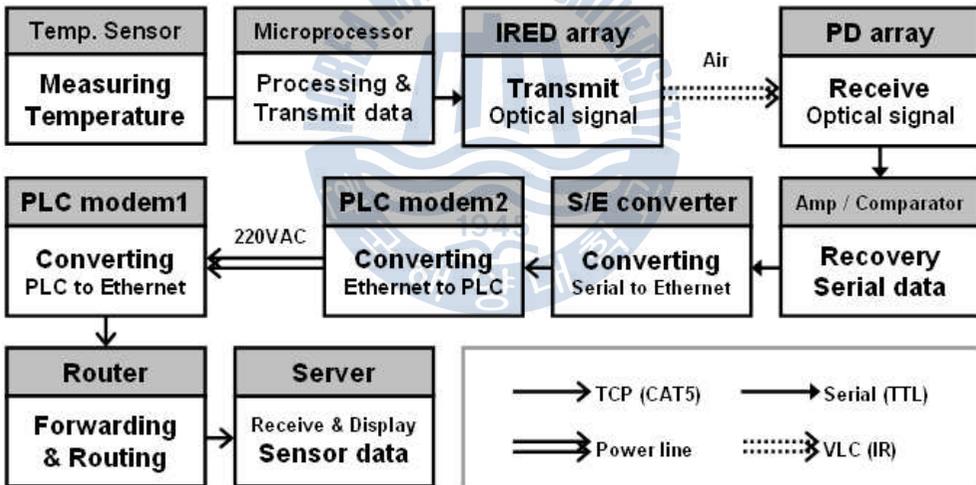


그림 3-5. 시스템의 상향전송 흐름

3.3 회로구성 및 주요부품

그림 3-6은 ‘VLC Device[0]’이라고 불리는 광 접속점의 회로이다. ‘A’는 전력선 모뎀으로 전력선 신호를 이더넷 신호로 변환하거나 이더넷 신호를 전력선 신호로 변환하는 역할을 한다. ‘B’는 이더넷-시리얼(시리얼-이더넷) 변환기로 이더넷 신호를 시리얼로 변환하거나 시리얼 신호를 이더넷 신호로 변환하는 역할을 한다. 이 변환기는 SENA 사의 ‘NEMO10’이라는 제품을 이용하고 있다. ‘C’는 백색 LED스탠드를 구동하기 위한 인버터 드라이버이다. 스탠드는 최고 12V에서 1A의 전류가 흐르기 때문에 ‘72LS04’ 6개로 총 36개의 인버터 게이트를 이용하여 전력을 감당하도록 하고 있다. ‘D’는 신호 복원을 위한 비교기로 ‘LM2901N’을 사용하고 있으며 오른쪽에 있는 가변저항으로 기준전압을 설정하도록 되어있다. 오른쪽에 보이는 터미널은 전원, LED스탠드, 포토다이오드를 연결하는 곳이다. ‘E’는 증폭기로 포토다이오드에서 검출된 신호를 복원에 용이하도록 증폭시켜주는 역할을 하고 ‘LM386’을 사용하고 있다. ‘F’는 회로에 필요한 전원으로 전력선 모뎀에서 사용하는 220VAC 전원을 공통으로 사용하여 12V와 5V를 만들어내고 있다.

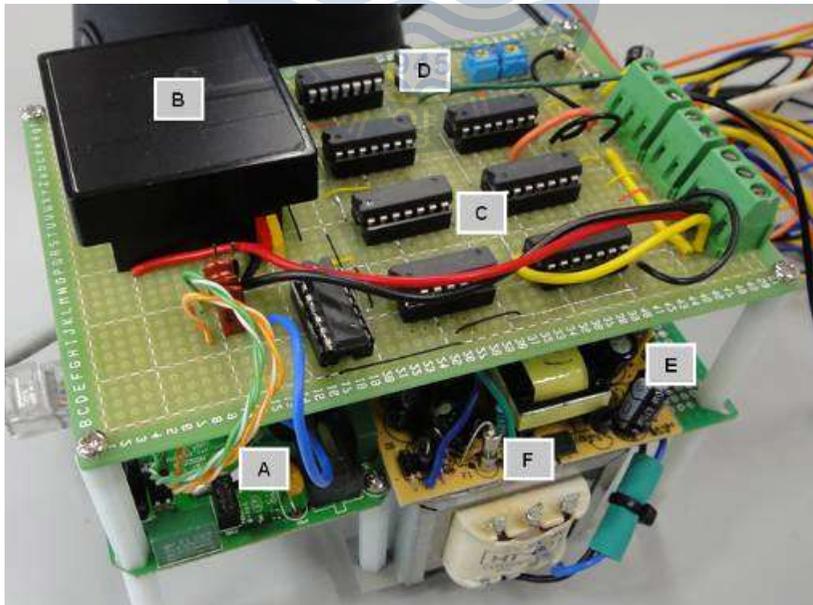


그림 3-6. 광 접속점의 회로

그림 3-7은 광 접속점에서 광 송수신을 담당하는 LED스탠드와 포토다이오드를 나타내고 있다. ‘G’는 57개의 일반적인 백색 고휘도 LED이며 청색LED에 황색의 형광물질을 도포하여 백색을 만들어내는 타입이다. ‘H’는 7개의 포토다이오드이다. 오스람사의 ‘SHF213-FA’를 사용하고 있다. ‘FA’타입은 적외선 필터가 적용 되어있는 형태로 검정색을 띄고 있다. 포토다이오드는 스탠드에서 원래 백색LED가 있는 위치에서 일부를 적출한 후에 그 자리에 설치하였다.

7개의 포토다이오드를 병렬로 설치한 것은, 작은 광 신호에도 예민하게 반응할 수 있도록 하기 위함과 지향성을 향상시키고자 함이다.



그림 3-7. 광 접속점과 광 송수신기 (LED와 PD)

그림 3-8은 ‘VLC Device[1]’ 또는 ‘[2]’ 단말기의 회로를 보여주고 있다. 단말기 ‘[1]’과 ‘[2]’는 같은 기능을 하는 회로이며 본 연구에서는 1:N 통신이 가능함을 보여주기 위해서 2개를 제작하였다. ‘A’는 아날로그 온도센서모듈로 현재 온도를 전압 값으로 표시한다. ‘B’는 마이크로프로세서로 아트멜(Atmel)사의 ‘Atmega128’을 사용하고 있다. 마이크로프로세서는 온도센서의 전압 값을 디지털 데이터로 바꾸어주는 역할을 하며 광 신호를 송수신 하기위한 시리얼데이터 및 신호처리를 하는 역할을 한다. ‘C’는 적외선 발광 다이오드를 구동하기 위한 인버터 드라이버이다. ‘74LS04’ 2개를 사용하고 있고 송신 전력 제어를 위해 가변저항을 이용하고 있다. ‘D’는 신호를 복원하기위한 비교기로 ‘LM2901N’을 사용하고 있고 가변저항을 통하여 기준전압을 결정하고 있다. ‘E’는 전원을 공급하는 배터리를 표시하고 있고 실제로는 회로의 아랫면에 장착되어있다. 1.5V 배터리 4개를 사용하여 6V를 만든 후 제너다이오드 및 전원 안정회로 등을 이용하여 5V를 출력하도록 되어있다.

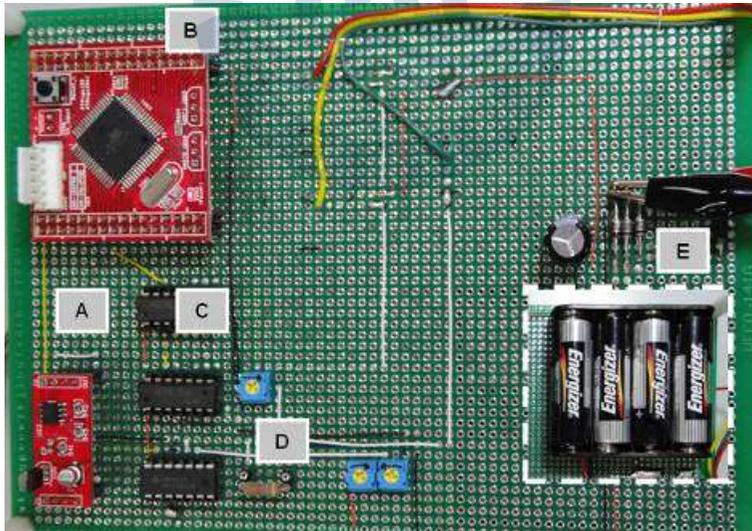


그림 3-8. ‘VLC Device[1]’ 또는 ‘[2]’ 단말기의 회로

그림 3-9는 단말기‘[2]’의 광 송수신기를 나타내고 있다. 단말기‘[1]’도 형태는 동일하다. ‘F’는 송신을 위해 적외선 발광 다이오드(Infrared Emitting Diode: IRED)인 KODENSHI 사의 ‘EL-1KL3’ 2개를 사용하고 있다. 광 접속점의 송신기는 조명의 역할을 하며 신호가 없는 상태에서 켜진 상태를 유지하지만, 조명의 기능이 필요 없는 이 단말기의 경우에는 신호가 있을 경우에만 적외선을 송신하여 저 전력으로 구동된다. 그리고 배터리를 이용하는 특성상 광 신호를 최소한 작게 전송하기 때문에 집광(集光)을 위해 렌즈를 사용하고 있다. ‘G’는 광 접속점으로부터의 백색 가시광 신호를 수신하기 위한 포토다이오드와 렌즈이다. 포토다이오드는 ‘SFH213’으로 가시광을 수신할 수 있도록 필터가 없는 제품을 1개 사용하고 있으며 통신거리 증대 및 지향성 향상을 위해 렌즈를 사용하고 있다. 렌즈 앞에 가려진 필터는 전체적으로 광 신호를 감쇄 시키는 역할을 하며 광 접속점 이외의 광원(태양광 및 형광등)으로부터의 간섭 및 영향을 최소화하고 있다.

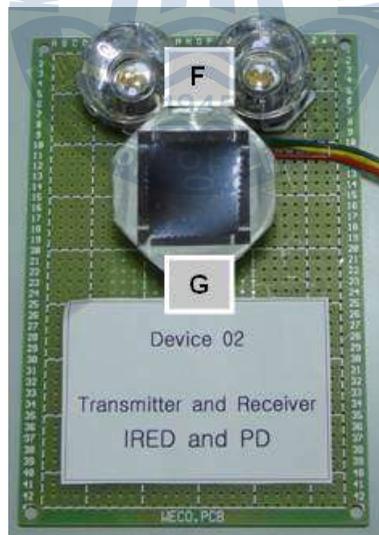


그림 3-9. ‘VLC Device[1]’ 또는 ‘[2]’ 단말기의 광 송수신기 (IRED와 PD)

3.4 데이터프레임 구조 및 프로토콜 변환

본 시스템에서는 몇몇 통신 프로토콜의 변환과정 및 데이터 변환이 이루어지고 있다. 전력선 신호를 이더넷 신호로 바꾸거나 시리얼 신호를 이더넷 신호로 바꾸는 등의 경우가 그러하다. 전력선 신호와 이더넷 신호의 상호 교환은 전력선 모뎀에서 이루어지는 부분이므로 본 연구에서는 설명을 생략한다.

시리얼 신호를 이더넷 신호로 변환하거나 이더넷 신호를 시리얼 신호로 변환하는 것은 시리얼-이더넷(이더넷-시리얼) 변환기에서 이루어지고 본 시스템에서는 SENA 사의 'NEMO10'이라는 제품을 이용하고 있다. 시리얼 신호와 이더넷 신호를 상호 변환하는 이유는 이더넷 신호를 그대로 광 신호로 송수신하는 것은 적합하지 않으므로 비교적 광 신호로 송수신하기 용이한 시리얼 신호로 변환하는 것이다.

그림 3-10은 'NEMO10'의 관리자 모드에 접속한 화면으로 'NEMO10'의 변환 설정에 대해 보여주고 있다.

이 변환기도 전력선 이더넷 망에 접속되는 한 단말기로서 TCP/IP 규격에 따라 IP(Internet Protocol)가 필요하다. 이 변환기의 IP는 전력선 망을 거쳐 연결된 라우터에서 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)서버를 통해 자동으로 할당하게 되고 본 화면에서는 192.168.0.6으로 할당된 것을 확인 할 수 있다. 이더넷 부분은 TCP서버 또는 클라이언트 모드로 사용할 수 있게 되어있고 제품 자체적으로 전이중 10Mbps를 지원하고 있다. 시리얼 부분은 115.2kbps, 1정지비트, 패리티 및 흐름제어 없음으로 설정하고 있다. 즉 10Mbps급의 이더넷 신호는 115.2kbps급의 시리얼 신호로 변환되고, 115.2kbps급의 시리얼 신호는 10Mbps급의 이더넷 신호로 변환된다.

```
터넷 192.168.0.6
login: heejin
password: *****
Type 'help' to get command usages
> get admin
Username: heejin
Password: heejin
Devicename: Nemo1E9D
> get host
Host_mode: tcpssc
Local_port: 80
Destination_IP: 192.168.0.1
Destination_port: 80
Cyclic_connection_interval(min): 10
Inactivity_timeout(sec): 10000
> get ip
IP_mode: dhcp
Allowed IP_address: 0.0.0.0
Allowed Subnet_mask: 0.0.0.0
> get serial
Baudrate: 115200
Data_bits: 8_bits
Parity: None
Stop_bits: 1_bit
Flow_control: None
DTR_option: Show_TCP_connection
DSR_option: None
Interchar_timeout(ms): 10
> get status
Serial_no.: NEMO10-100300851
MAC_address: 00-01-95-0b-1e-9d
F/W_REU.: U1.4.4
Current_IP: 192.168.0.6
>
```

그림 3-10. 시리얼-이더넷 변환기 NEMO10의 관리자 모드

그림 3-11은 하향전송 데이터 변환을 나타낸다. 이더넷 데이터는 기본적으로 TCP 헤더 및 트레일러 등과 함께 구성된다. 'NEMO10'에서는 이 중에서 데이터 부분만 취득하여 시작문자열 및 종료문자열 등과 함께 재구성하여 시리얼 데이터로 만들어 주게 된다.

데이터내부에는 별도로 데이터의 분석을 용이하게 하기 위하여 몇 가지 구간으로 데이터를 정의하고 있다. '\$'는 데이터의 시작을 뜻하는 문자로 정의하였다. 데이터 구간별로 '콤마(,)'로 구분한다. 그 다음 구간에는 데이터 송신자의 ID가 입력된다. 하향전송에서는 데이터를 요청하는 서버의 ID가 입력된다. 서버의 ID는 'MS01'로 지정하였다. 그 다음 구간에는 요청하는 단말기의 ID로 본 요청의 목적지가 입력된다. 'VLC Device[1]'은 'ED01'로 'VLC Device[2]'는 'ED02'로 지정하였다. 마지막 구간에는 명령어로 단말기의 상태를 요청하거나 온도 측정 등을 요구하는 명령어가 입력 될 수 있다.

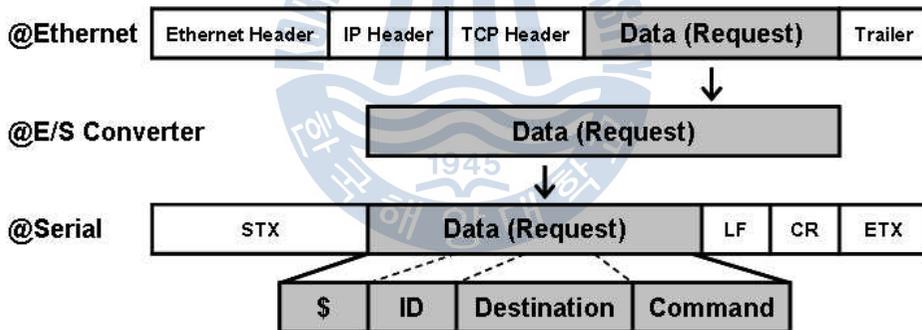


그림 3-11. 하향전송 데이터 변환

그림 3-12는 상향전송 데이터 변환을 나타낸다. 시리얼 데이터는 단말기가 요청에 따라 처리한 결과 데이터가 시작문자열 및 종료문자열 등으로 구성되어 있다. 'NEMO10'에서는 데이터 부분만 취득하여 TCP헤더 및 트레일러와 함께 재구성하여 이더넷 데이터로 만든다.

데이터 내부는 전체적인 형태는 하향전송 데이터와 크게 다르지 않다. 마찬가지로 \$는 데이터 시작을 뜻하고 ID는 단말기 자신의 ID로 'VLC Device[1]'일 경우 'ED01'이 'VLC Device[2]'일 경우 'ED02'가 입력될 수 있다. 그리고 그 다음 구간은 센서로부터 측정된 결과 값이 입력될 수 있고, 본 연구에서는 온도센서를 사용하였기 때문에 온도 값이 입력된다. 그리고 그 다음구간은 여유 구간으로 남겨두거나 단말기의 상태를 전달해야 할 경우 상태를 입력하여 전달하게 된다.

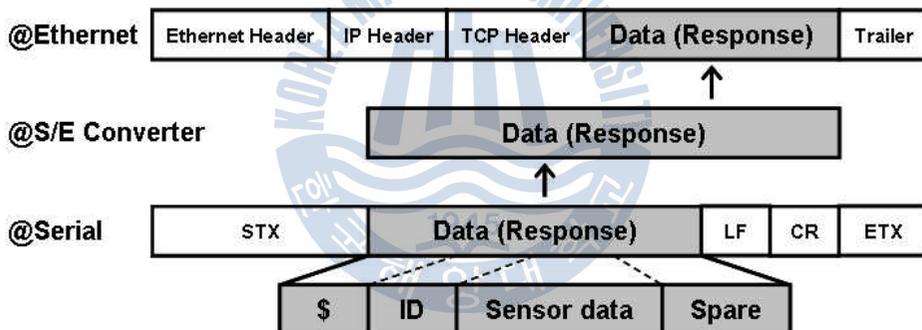


그림 3-12. 상향전송 데이터 변환

부록의 표 A-1은 온도 측정을 요구 받았을 경우 온도를 측정하여 반환하는 코드로 마이크로프로세서 내부에 적용되는 코드를 나타낸다. 아래의 코드는 이해를 돕기 위해 간단히 'A'를 수신한 경우 'A'단말기가 온도를 측정하고 반환하는 형태로 작성하였다.

문자열을 수신하면 인터럽트모드로 진입하여 수신한 문자를 저장하고 수신한 문자를 확인하여 'A'일 경우에 ADC(Analog to digital converter)를 동작시켜 온도센서의 전압을 읽어 섭씨온도로 계산하고 시리얼 통신을 이용하여 송신하게 된다. 'A','B'가 동시에 수신되는 경우의 통신 간섭을 감안하여 'B'는 100ms 이후에 전송하도록 하고 있다.



제 4 장 실험 및 결과

4.1 실험설정 및 환경

그림 4-1에서 보는 것과 같이 실험을 설정하였다. 편의상 'Device[1]'과 '[2]'의 전원은 배터리 대신 전원공급기를 이용하였다. 'Device[0]' 즉, 광 접속 점은 전력선으로 연결되어 전원을 공급하며 동시에 라우터와 연결되어있다. 그리고 실험 테이블과 떨어진 곳에 같은 라우터에 연결된 컴퓨터를 이용하여 실험을 진행하였다. 송신되는 신호와 수신되는 신호의 파형을 측정하기위해 오실로 스코프를 설치하여 각 부분의 파형을 측정하였다. 실험시의 통신거리는 약 60cm, 온도는 섭씨25도로 상온이었으며 태양광은 차단된 상태이고 실험실 내 조명은 형광등으로 평균 170Lux의 조도를 가진 환경이었다. 이는 일반적인 사무환경과 흡사하다.

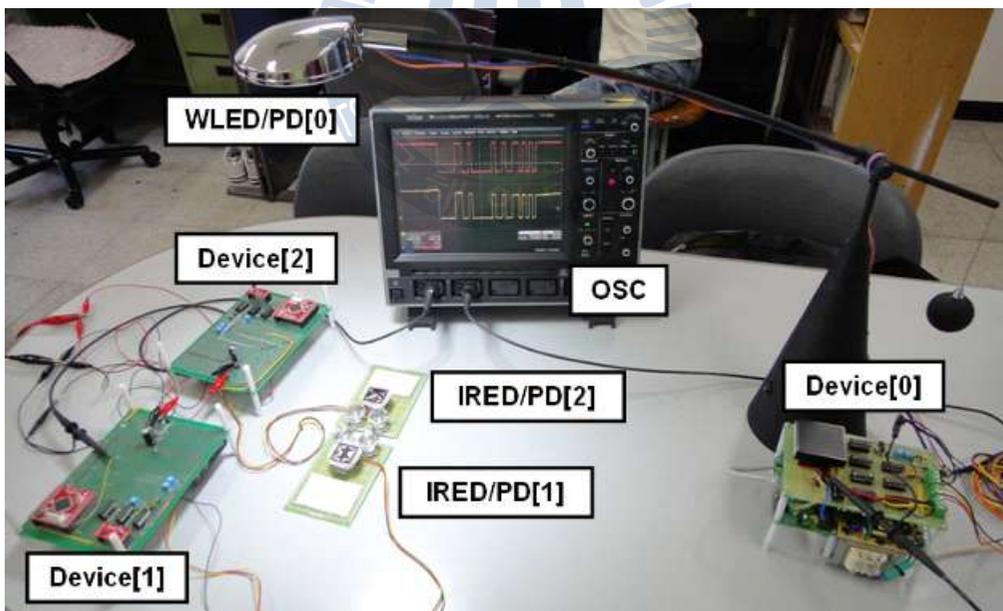


그림 4-1. 실험 설정 및 환경

4.2 통신실험 및 결과

실험은 크게 2가지 방식으로 이루어졌다. 첫 번째는 무작위로 문자를 전송하며 신호 자체의 송신과 수신, 그리고 복원이 가능한지를 살펴보고 가능하다면 어느 정도의 전송속도까지 가능한지와 잡음에 대한 적응력에 대해 실험하였다. 두 번째는 실제로 요청데이터를 전송하여 목적인 센서네트워크의 동작이 정상적으로 되는지에 대해 시험하였다.

4.2.1 신호전송 및 복원 실험

그림 4-2는 전송속도 9.6kbps로 광 접속점에서 송신하고 있는 백색 가시광 신호와 단말기에서 수신하여 비교기를 통해 복원한 신호를 나타내고 있다. 그림 4-3은 같은 환경에서 전송속도를 115.2kbps로 설정하고 실험한 결과를 나타내고 있다.

57개의 백색 LED를 통해 전송되는 신호는 모든 전송속도에서 아무런 문제 없이 정상적으로 복원되는 것을 확인 할 수 있었다. 광 접속점에서는 57개의 LED를 동시에 구동하는 것에서 생긴 순간적인 오버슈팅이 발생하는데 오히려 수신된 신호는 더욱 오버슈팅이 적고 안정적인 것을 확인 할 수 있다.

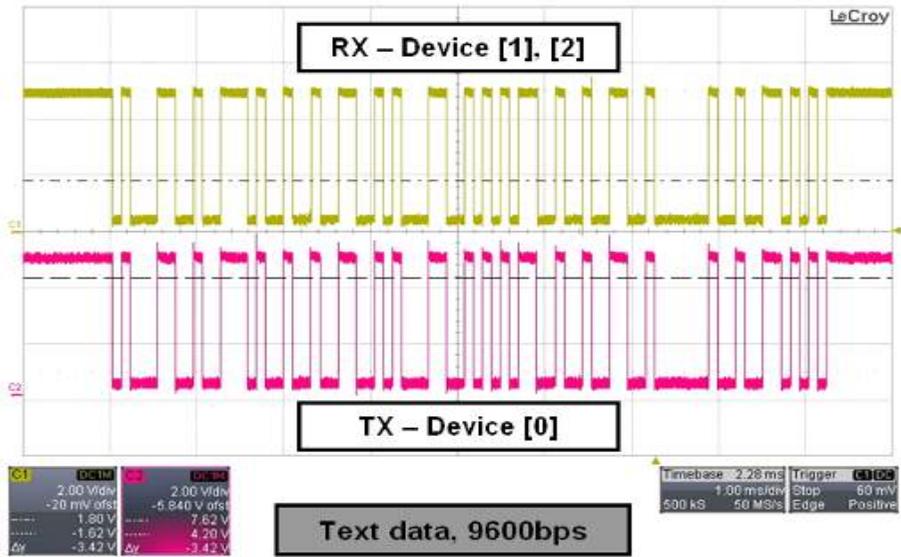


그림 4-2. 하향 전송 실험, 9.6kbps

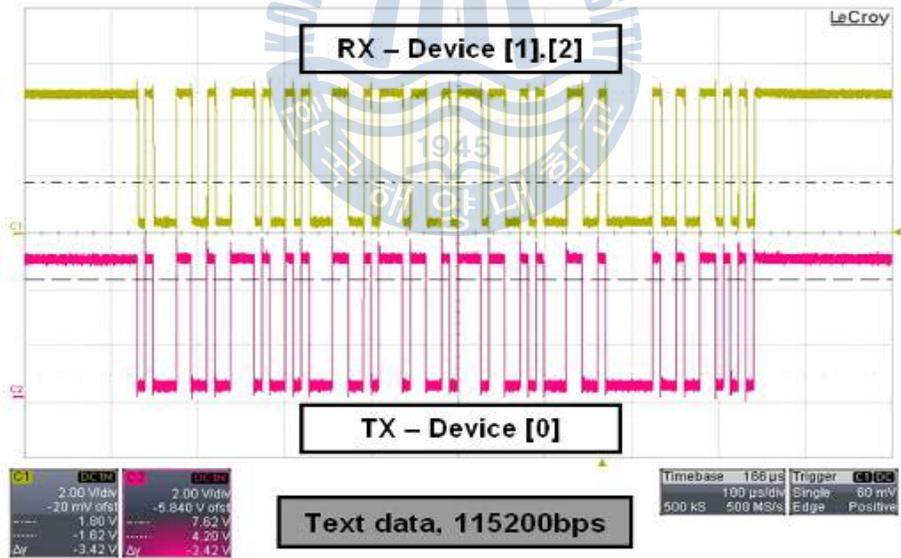


그림 4-3. 하향 전송 실험, 115.2kbps

그림 4-4는 전송률 9.6kbps로 상향 전송에서 신호 복원실험을 한 결과를 나타내고 있다. 상향 전송에서는 ‘Device[1]’ 또는 ‘[2]’에서 단지 2개의 적외선 발광 다이오드를 이용하여 광 신호를 전송하게 된다. 뿐만 아니라 이 적외선 발광 다이오드는 단말기의 저 전력 구동을 위해 최소한의 배터리 전력으로 구동된다. 그렇기 때문에 광 접속점에서 수신되는 신호는 매우 미약하고 상대적으로 많은 노이즈를 포함하고 있다.

그리하여 광 접속점의 수신단의 포토다이오드에서 검출되는 신호는 그림 4-4의 하단 신호와 같은 형태를 띠고 있다. 신호는 약 50mV의 크기이고 좌측에 신호보다 더 큰 노이즈가 유입된 것을 볼 수 있다.

신호의 복원을 위하여 증폭기를 사용하여 50mV의 신호를 약 20배 증폭하고 비교기를 이용하여 복원하였다. 복원한 결과는 그림 4-4의 상단에 보이는 신호와 같다. 신호보다 더욱 큰 노이즈가 유입되었음에도 신호는 완벽하게 복원된 것을 확인 할 수 있었다.

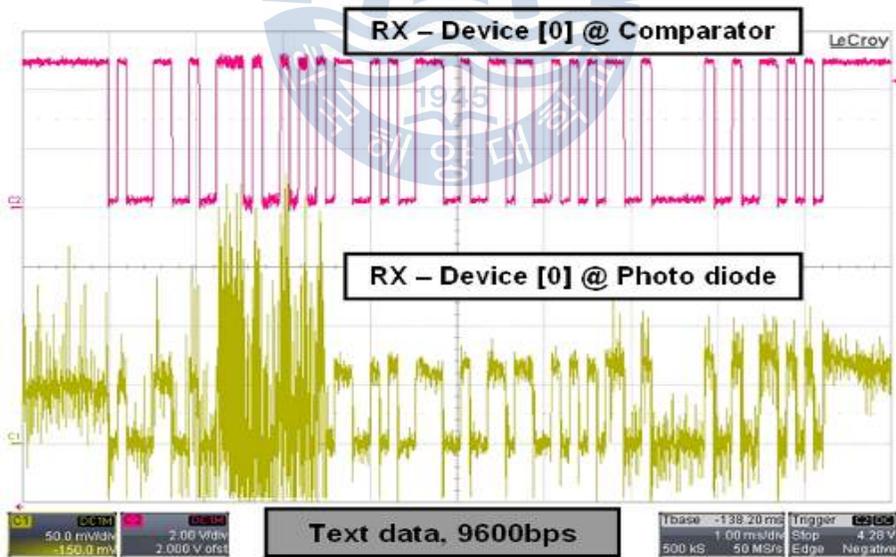


그림 4-4. 상향 전송에서 잡음에 대한 신호 복원 실험

4.2.2 데이터통신 실험

광 신호자체의 송수신에 이상이 없는 것을 확인한 후, 시리얼 통신 프로그램으로 배포되고 있는 'J1 Communication 4.5'라는 프로그램으로 그림 4-5와 같이 데이터 통신 실험을 하였다.

TCP연결을 통해 '192.168.0.4'의 주소로 할당된 광 접속점에 연결하여 2초 간격으로 모든 단말기의 온도 값을 요청하였다. 요청 데이터는 '\$MS01,A,DQT' 로 '\$'는 데이터의 시작문자열, 'MS01'은 데이터를 요청하고 있는 서버의 ID, 'A'는 모든 단말기에게 요청한다는 것을 의미하고 'DQT'는 온도 데이터를 요청한다는 의미이다.

수신된 데이터는 '\$ED01' 또는 '\$ED02'로 시작한다. 이는 'VLC Device[1]'로부터 온 데이터는 '\$ED01', 'VLC Device[2]'로부터 온 데이터는 '\$ED02'를 의미한다. 그 뒤에 있는 숫자는 측정된 섭씨온도를 나타낸다. 실험 설정을 보면 두 단말기가 같은 공간에 위치하고 있기 때문에 온도가 비슷한 것을 알 수 있다. 수차례의 실험에도 정상적으로 통신이 이루어지는 것을 볼 수 있었다.

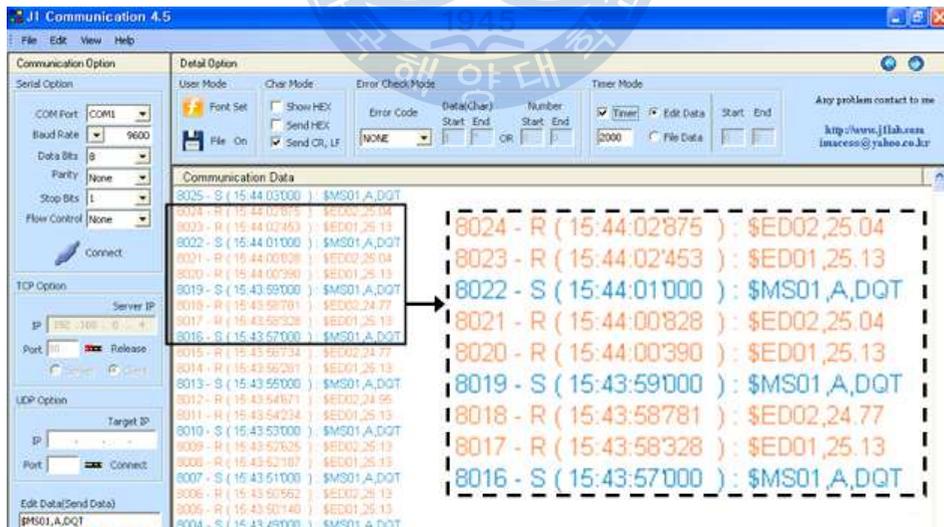


그림 4-5. 시리얼 통신 프로그램을 이용한 데이터 통신 실험

4.3 응용프로그램

선행한 실험들을 바탕으로 최종적인 응용프로그램을 제작하였다. 프로그램은 National Instrument 사의 ‘LabVIEW’라는 저작도구로 제작되었다. 프로그램을 실행하면 광 접속점에 접속하여 30분 간격으로 모든 센서의 온도측정을 요구하여 그래프로 24시간동안 기록하게 된다.

그림 4-6은 제작된 온도 모니터링 프로그램을 나타내고 있다. 광 접속점의 IP는 ‘192.168.0.3’으로 본 프로그램을 위해 포트는 ‘8001’을 설정하였다. 측정은 0시에서 다음날 0시까지 24시간 동안 진행하였다. 측정간격은 30분으로 매 정각 및 매 30분마다 동시에 두 센서의 온도를 요청하였다.

그래프는 온도측정 결과를 나타낸다. 온도센서는 같은 실험실 내에 위치하고 있었기 때문에 비슷한 온도 그래프를 나타내고 있다. 오후가 되자 온도가 상승하고 에어컨을 가동하면서 온도가 하강하고 저녁에 냉방을 중단하면서 다시 온도가 상승한 것을 알 수 있다.

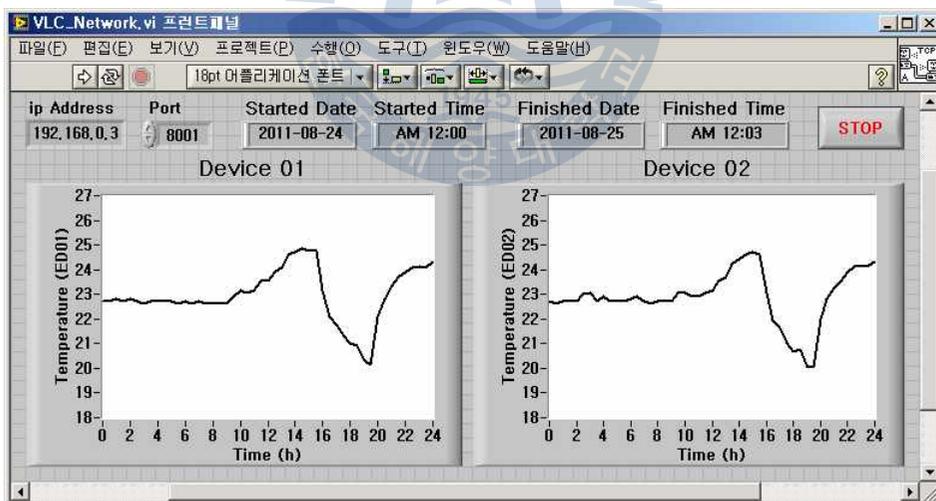


그림 4-6. ‘LabVIEW’로 제작된 온도 모니터링 프로그램

4.4 자동 광세기 검출기 (AOD)

자동 광세기 검출기(AOD)는 마이크로프로세서를 기반으로 하고 있는 회로로서 광 신호를 송신하고 있는 송신기에 대하여 자동으로 그 송신신호의 세기를 측정하고 복원을 위한 최적의 정보를 제공하고 그 정보를 통해 신호를 자동적으로 최적의 상태로 복원하는 회로를 뜻한다.

4.4.1 AOD의 필요성 및 장점

현재 본 논문에서 설명하고 있는 시스템의 경우에는 신호 복원을 위한 비교기의 기준전압을 가변저항을 통해 직접적으로 설정해 주어야하는 불편이 있다. 이는 통신거리가 변경되거나 다른 종류의 송신기로부터 수신을 하고자 하는 경우에 기준전압의 재설정(가변저항의 변경)이 불가피하다는 것을 뜻한다. 뿐만 아니라 어떠한 장애물 등으로 인하여 통신이 불가능한 환경이 되는 경우 데이터의 손실을 막기 위해 통신일 일시중지하고 통신재개를 대기할 필요가 있다.

AOD는 통신거리가 변경되거나 다른 송신기로부터 수신을 하고자 하는 경우에 능동적으로 송신기에서 송신하고 있는 광 신호의 세기를 측정하고 가장 알맞은 기준전압을 자동으로 설정하여 줌으로써 환경변화에도 지속적으로 신호를 수신할 수 있도록 해준다. 뿐만 아니라, 장애물 등으로 인하여 통신이 불가능한 경우에 통신연결을 종료하는 것이 아니라, 아무런 데이터가 없이 연결만 되어 있는 대기상태로 만들어주어 원하지 않는 통신종료를 방지하고 통신이 불가능한 상황에서 데이터를 전송하여 데이터가 손실되는 현상을 방지해준다.

AOD를 사용하게 되면 복원 신호의 신뢰도가 올라가게 되며, 쉽게 광 접속점을 옮겨 다니며 원하는 송신기의 데이터를 취득하는 것이 가능해진다. 더욱더 발전한 형태는 이동하면서도 지속적으로 가까이 있는 광 접속점과 통신하면서 가시광 통신을 이용 할 수 있게 된다.

4.4.2 AOD의 원리 및 구조

AOD는 기존의 광 신호 검출회로인 증폭기와 비교기의 회로에 마이크로프로세서를 추가하여 기준전압을 마이크로프로세서가 결정해 주도록 하는 구조로 되어있다. 그리고 마이크로프로세서는 내부적으로 현재의 통신 상태를 판단하는 알고리즘을 입력하여 논리 게이트와 함께 사용하여 장애물로 인하여 통신이 불가능한 경우 최종 출력을 high(시리얼통신의 경우 데이터가 없는 대기상태에서 high)로 만들어 지속적으로 low가 입력되어 통신이 종료되어버리는 것을 막는다.

마이크로프로세서에서는 수신되는 신호를 ADC처리하여 신호가 high일 때와 low일 때의 전압을 지속적으로 측정하여 신호의 세기를 판단한다. 그리고 두 전압의 가운데 지점을 PWM(Pulse Width Modulation)신호로 변환하여 이 PWM신호를 다시 아날로그 전압으로 변환하게 된다. PWM신호를 아날로그 전압으로 변환하는 데에는 콘덴서가 사용된다. 최종적으로 만들어진 전압신호는 비교기의 기준전압으로 입력되어 비교기가 올바르게 신호를 복원할 수 있도록 해준다.

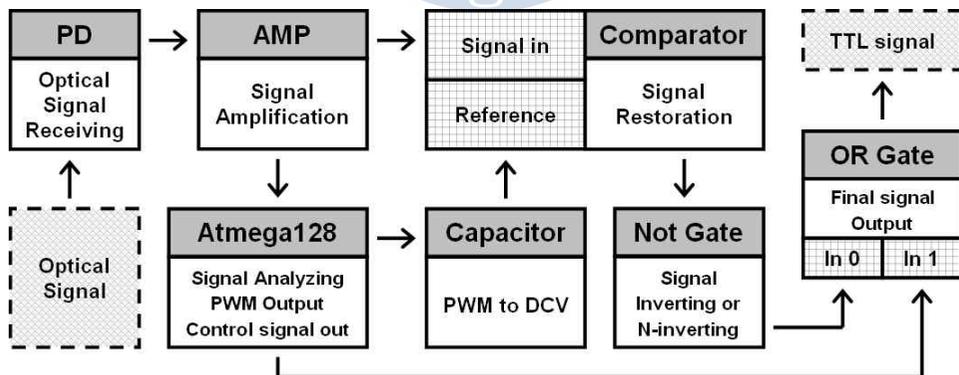


그림 4-7. AOD의 구조 및 동작흐름

그림 4-7은 AOD의 구조 및 동작흐름을 나타낸다. PD에서 수신한 신호는 증폭기를 통해 약 10배 증폭되어 비교기와 'Atmega128'로 입력된다. 프로세서는 신호를 분석하여 채널의 상태를 파악하고 비교기 동작을 위한 기준전압을 결정하여 OR게이트 입력신호 및 기준전압에 해당하는 PWM신호를 출력한다. 채널에 이상이 있는 것으로 판단할 경우는 high를 OR게이트에 입력하여 수신하는 신호와 관계없이 항상 high를 출력하게 한다. 채널에 이상이 없는 경우는 low 신호를 OR게이트에 입력하여 수신하여 복원된 신호가 그대로 출력되게 한다. 콘덴서는 PWM신호를 DC(Direct Current) 전압으로 만들어서 비교기의 기준전압으로 사용할 수 있도록 해준다. 앰프를 통해 증폭된 신호는 분석에 의해 결정된 기준전압을 기준으로 펄스형태의 신호로 복원이 된다. 인버터는 송신측에서 반전 형태로 신호를 송신한 경우에 복원한 신호를 다시 반전시켜 원래 형태로 만드는 역할을 한다. 송신측에서 비반전 형태로 신호를 송신한 경우는 수신된 신호를 반전시키지 않는다. 복원 및 반전된 신호는 OR게이트에 입력되어 프로세서의 판단에 따라 최종적으로 출력된다. 채널에 이상이 있는 경우는 복원된 신호를 신뢰할 수 없으므로 프로세서에 의해 무시되며 최종적으로 high가 출력된다. 정상적으로 신호가 출력될 때 그 형태는 0-5V의 TTL(Transistor - Transistor Logic)신호의 형태로 출력된다.

AOD는 증폭된 신호로부터 0.1초 동안 400회 전압을 측정하여 신호를 분석하는데 사용한다. 즉, 1초에 4000회 신호의 전압을 측정 및 분석하며, 10회 기준전압을 변경하며 동작한다. AOD는 위와 같은 과정을 반복하여 채널의 상태와 신호를 지속적으로 추적, 분석 및 처리한다.

처리과정 중에서 PWM신호는 콘덴서에 의해 DC 전압으로 만들어진다. 이 과정에서 콘덴서의 특성에 따라 오차가 발생한다. 그림 4-8은 이상적인 PWM-Analog 변환 특성과 실제로 사용한 콘덴서의 변환특성을 나타낸다. 그래프에서 가로축은 PWM 신호의 듀티(Duty)비(펄스신호 중 On되어있는 시간의 비율)를 나타내고 세로축은 출력 전압을 표시한다. 실제 변환특성을 살펴보면 2.6V 부근에서 이상적 변환특성과 일치한다.

즉, 약 60% 듀티비로 PWM 출력을 마이크로프로세서가 명령하게 되면 듀티비와 정비례하는 2.6V가 최종적으로 출력되는 것이다. 예를 들어 듀티비 25%를 출력하도록 명령 했을 때 정비례하는 기대 출력전압은 1.25V가 된다. 하지만 실제로는 듀티비 25%에서 실제로 출력되는 전압은 약 0.8V로 오차가 존재한다. 특히 듀티비 30% 부근과 70% 부근에서는 심한 오차를 보이고 있다. 이러한 오차는 실제로 미약한 신호를 복원하는데 있어서 치명적인 결함이 될 수 있고 실제로도 올바르게 동작하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그리하여 소프트웨어적으로 오차를 보정하여 이상적인 특성과 가깝도록 만들어 주었다.

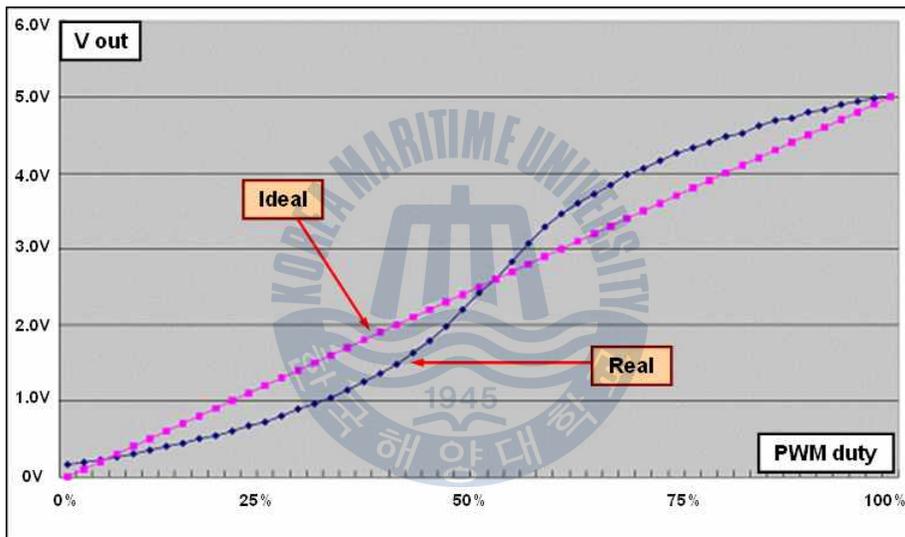


그림 4-8. 이상적인 PWM-Analog 변환특성과 실제 콘텐서의 변환특성

부록의 표 A-2는 이상적인 특성을 가질 수 있도록 소프트웨어적으로 보정하는 코드이다. 이 코드는 마이크로프로세서에 함수로 지정되어 요구하는 전압과 실제로 출력되는 전압이 일치할 수 있도록 해주는 역할을 한다.

본 코드에서는 처리를 간략화 하기위해 콘텐서의 특성을 총 9구간으로 나누어 각 구간을 직선화하고 각 직선을 이상적인 특성과 매칭 될 수 있도록 보정하고 있다.

4.4.3 AOD 회로구성

그림 4-9은 AOD의 회로를 나타낸다. 좌측 상단에 마이크로프로세서로 아트멜(Atmel)사의 'Atmega128'이 설치되어있다. 그리고 그 아래에 PWM신호를 아날로그 신호로 바꿔주는 일종의 DAC 역할을 하는 콘덴서가 설치되어있다. 그리고 가운데 상단에 위치한 소자는 인버터인 '74LS04'로 비교기와 함께 신호를 명확하게 만들어주는 역할을 한다. 인버터 우측에 있는 소자는 OR게이트이며 통신에 문제가 있을 경우 마이크로프로세서로부터 신호를 받아 통신을 중단하거나 재개하는 역할을 한다. 아래에 있는 소자는 왼쪽부터 비교기 'LM2901N' 과 증폭기 'LM386' 이다. 'LM2901'의 기준전압은 마이크로프로세서와 콘덴서가 만들어주므로 더 이상 가변저항이 필요하지 않다. 최 하단 우측 위치한 것은 5V 전원회로로 2조가 존재하고, 1조는 DAC와 기준전압을 위한 전원으로 사용하고 나머지 1조는 마이크로프로세서, 인버터, 증폭기를 위한 전원으로 사용한다. 상단의 터미널은 신호의 입출력 및 회로 상태 확인을 위한 서비스 터미널로 사용된다.

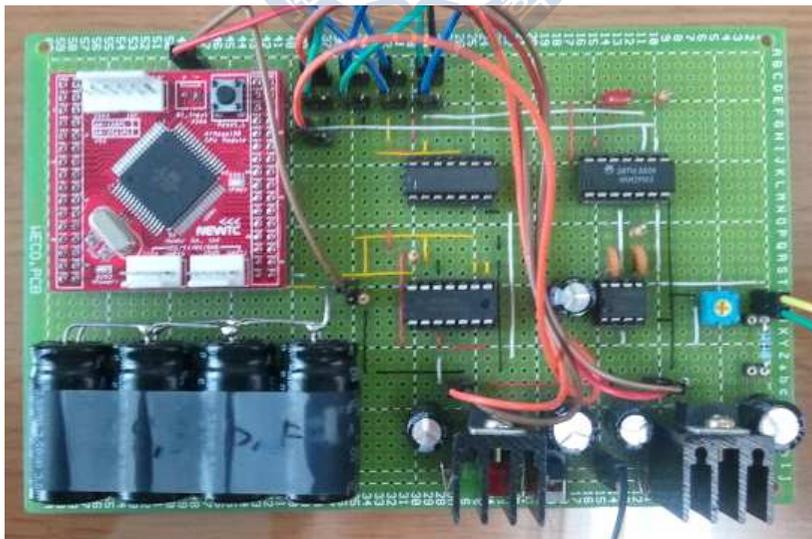


그림 4-9. 자동 광세기 검출기(AOD)의 회로

4.4.4 AOD 실험 결과

표 4-1은 AOD를 적용하기 전과 후의 통신거리에 대한 성능을 나타내고 있다. ‘○’는 신호의 검출 및 정상적인 복원이 이루어진 경우, ‘△’는 신호의 검출이 가능하나 정보의 손실이 발생한 경우, ‘×’는 신호의 검출 자체가 불가능한 경우를 나타낸다.

표 4-1. AOD 실험 결과

거리 \ 구분	AOD제외	AOD적용
10cm 이하	○	○
30cm	○	○
60cm	○	○
90cm	×	○
120cm	×	○
150cm	×	○
180cm	×	○
190cm	×	△
200cm 이상	×	×

결과에서 AOD를 적용하여 통신가능거리가 60cm에서 1.9m로 약 3배 이상 향상된 것을 확인 하였다. 1.9~2.0m의 구간에서는 AOD가 미약한 신호를 지속적으로 추적하면서 복원을 하지만 정밀도의 한계로 인하여 안정적으로는 복원되지 않는 것을 확인하였다. AOD의 알고리즘을 보다 정밀하게 개선하고 DSP(Digital Signal Process)를 적용할 경우 보다 먼 거리에서도 안정적으로 복원이 가능 할 것으로 보고 있다. 그림 4-10과 4-11은 AOD가 없는 상태에서의 실험, 그림 4-12부터 4-21까지는 AOD를 적용한 상태에서 통신거리에 따른 실험을 진행한 결과를 보여주고 있다.

그림 4-10은 AOD를 제외한 상태에서 통신거리를 0.5m로 설정하여 텍스트 데이터를 전송하였을 때 AOD가 수신 및 증폭된 신호를 분석하여 설정한 기준 전압을 기준으로 복원된 신호를 나타낸다. 하단의 신호가 PD로부터 측정된 전압, 상단의 신호는 복원된 결과를 나타낸다. 신호가 정상적으로 복원되어 펄스 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 동일 조건에서 통신거리를 0.6m로 설정하여 실험한 결과는 그림 4-11과 같다. 가변저항을 통해 설정하는 기준전압 정확성의 한계로 조금씩 복원된 신호에 문제가 발생하기 시작하였다.

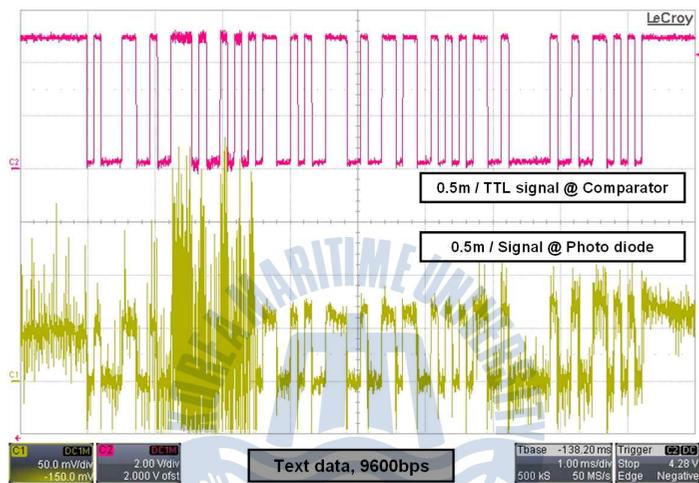


그림 4-10. 신호 복원, 통신거리 0.5m, AOD 제외

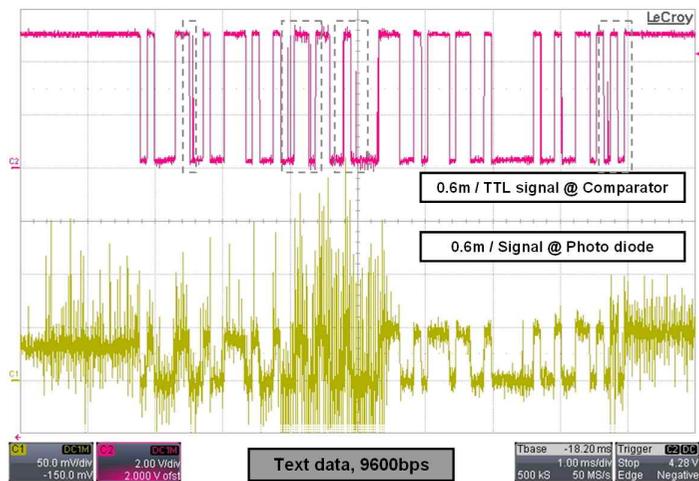


그림 4-11. 신호 복원, 통신거리 0.6m, AOD 제외

그림 4-12는 AOD를 적용한 상태에서 통신거리를 0.5m로 설정하여 텍스트 데이터를 전송하였을 때 AOD가 수신 및 증폭된 신호를 분석하여 최적의 기준 전압을 출력하는 것을 나타낸다. 하단의 신호가 PD로부터 측정된 전압, 상단의 전압은 프로세서가 계산하여 출력한 PWM신호를 DC전압으로 출력한 결과를 나타낸다. 실험 설정 중에서 가장 가까운 통신거리이므로 수신되는 신호가 강하기 때문에 기준전압도 가장 높게 출력 되는 것을 확인 할 수 있다.

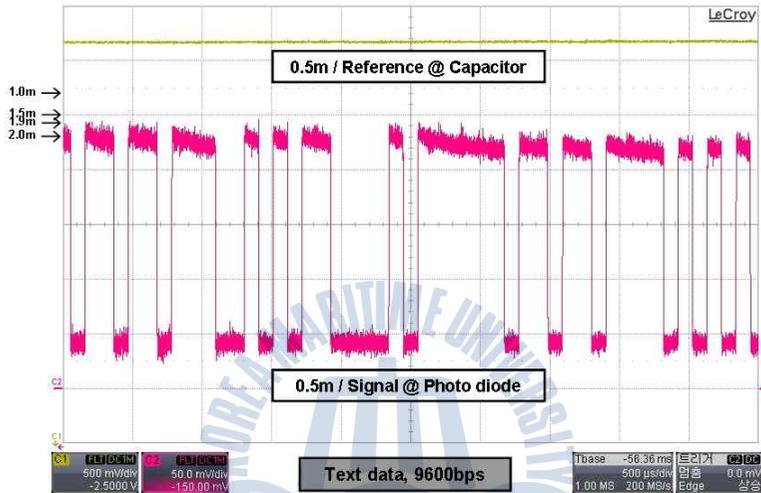


그림 4-12. 기준전압 추정실험, 통신거리 0.5m, AOD 적용

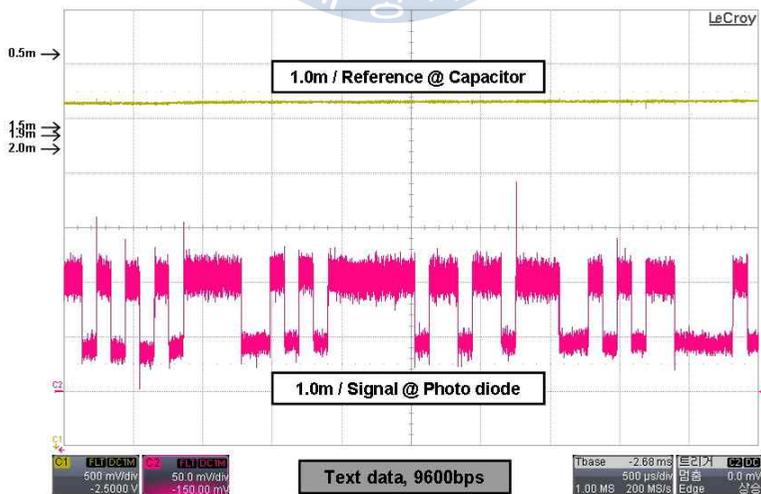


그림 4-13. 기준전압 추정실험, 통신거리 1.0m, AOD 적용

그림 4-13은 동일한 조건에서 통신거리를 1.0m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 통신거리 0.5m와 비교할 때, 수신된 신호의 세기가 약해지고 기준전압도 낮아진 것을 확인 할 수 있다.

그림 4-14는 동일한 조건에서 통신거리를 1.5m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 통신거리 1.0m와 비교할 때, 수신된 신호의 세기가 약해지고 기준전압도 낮아진 것을 확인 할 수 있다.

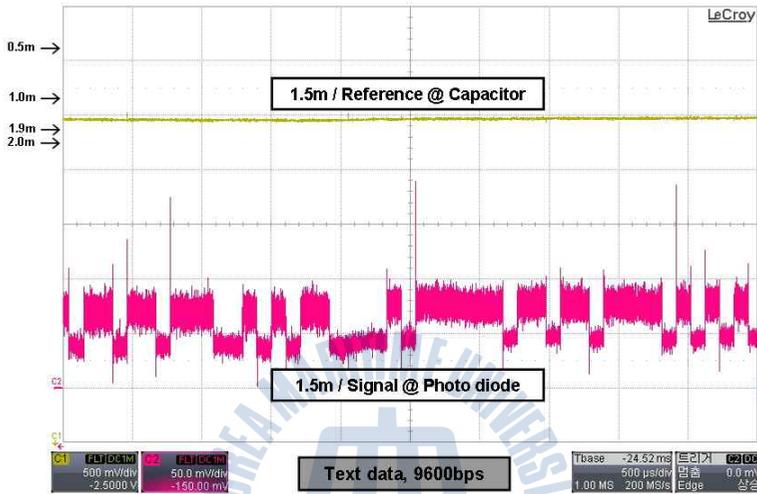


그림 4-14. 기준전압 추정실험, 통신거리 1.5m, AOD 적용

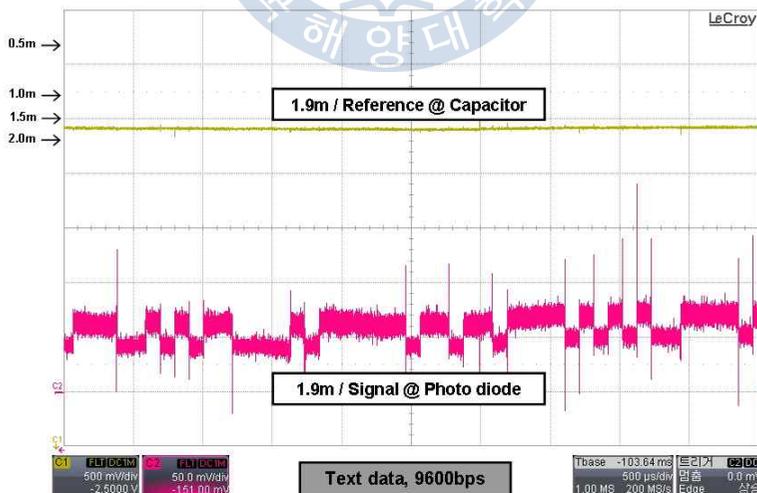


그림 4-15. 기준전압 추정실험, 통신거리 1.9m, AOD 적용

그림 4-15는 동일한 조건에서 통신거리를 1.9m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 통신거리 1.5m와 비교할 때, 수신된 신호의 세기가 약해지고 기준전압도 낮아진 것을 확인 할 수 있다.

그림 4-16은 동일한 조건에서 통신거리를 2.0m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 수신되는 신호를 구분하기가 어렵고 기준전압은 더욱 낮아졌지만 다소 불안정한 것을 확인 할 수 있다.

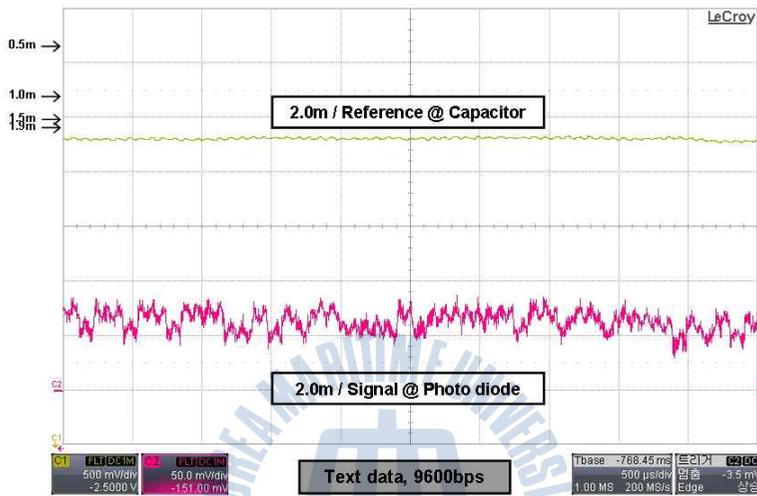


그림 4-16. 기준전압 추정실험, 통신거리 2.0m, AOD 적용

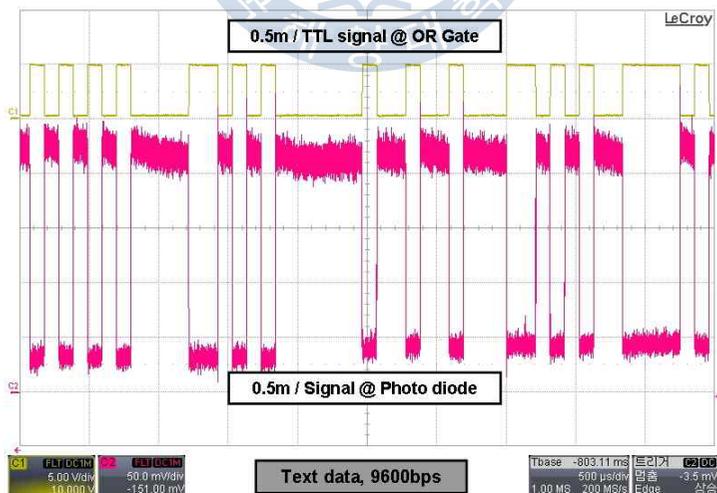


그림 4-17. 신호 복원, 통신거리 0.5m, AOD 적용

그림 4-17은 AOD를 적용한 상태에서 통신거리를 0.5m로 설정하여 텍스트 데이터를 전송하였을 때 AOD가 수신 및 증폭된 신호를 분석하여 설정한 기준 전압을 기준으로 복원한 신호를 나타낸다. 하단의 신호가 PD로부터 측정된 전압, 상단의 신호는 복원된 결과를 나타낸다. 신호가 정상적으로 복원되어 펄스 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

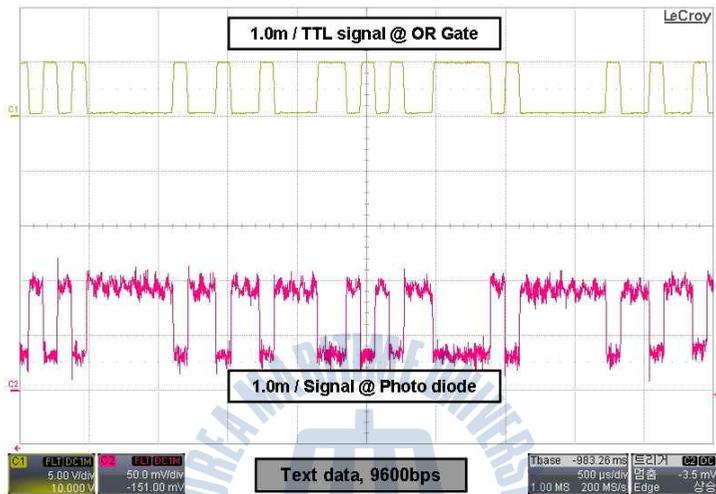


그림 4-18. 신호 복원, 통신거리 1.0m, AOD 적용

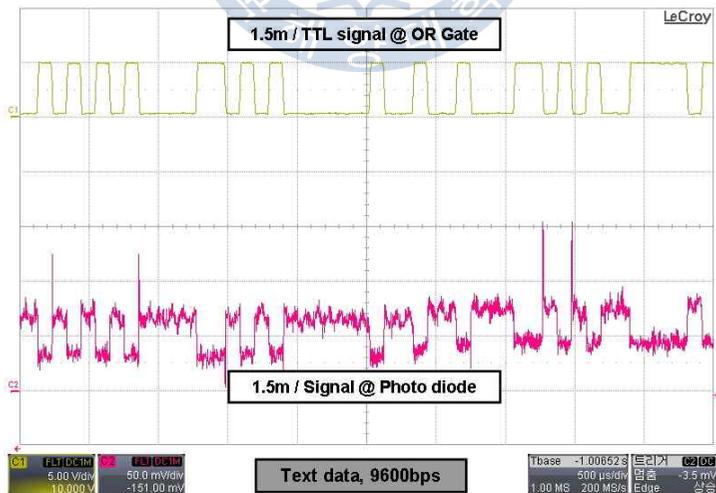


그림 4-19. 신호 복원, 통신거리 1.5m, AOD 적용

그림 4-18부터 4-20까지는 동일한 조건에서 통신거리를 각각 1.0m, 1.5m, 1.9m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 거리가 멀어질수록 수신되는 신호의 세기가 약해지지만 펄스형태의 신호로 정상적으로 복원되는 것을 확인할 수 있다.

그림 4-21은 동일한 조건에서 통신거리를 2.0m로 설정하여 실험한 결과를 나타낸다. 신호가 매우 약해서 구분이 불가능 한 것으로 판단하여 출력이 high로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

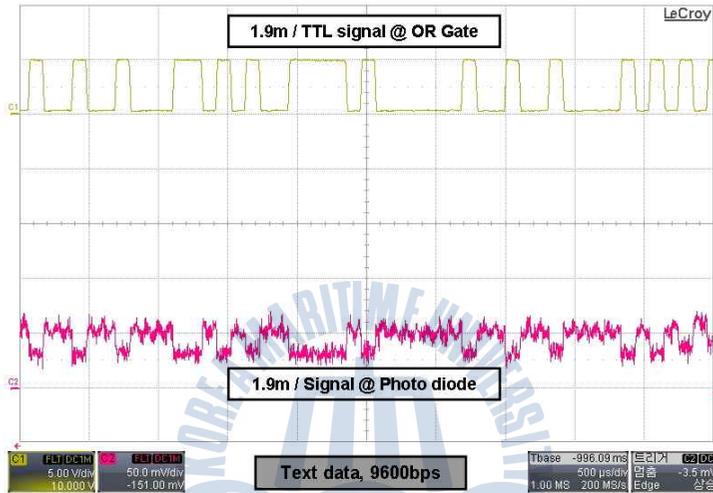


그림 4-20. 신호 복원, 통신거리 1.9m, AOD 적용

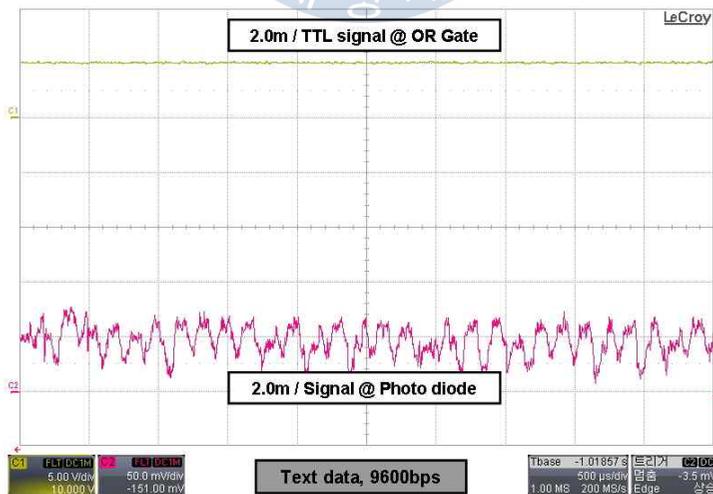


그림 4-21. 신호 복원, 통신거리 2.0m, AOD 적용

제 5 장 결 론

본 논문은 LED조명 기술이 급속도로 발전하고 그에 따라 가시광 통신기술이 주목받으면서 광범위하게 구축되어있는 전력선 인프라와 가시광 통신기술을 접목한 센서네트워크에 대한 연구 및 개발 그리고 그 실험 결과에 대해 기술하였다.

본 논문에서 기술한 연구를 통해 전력선이더넷기반 가시광 센서네트워크라는 새로운 형태의 시스템을 제안하였다. 그리고 일반적인 전력선 이더넷과 LED조명을 접목할 수 있는 한 방법을 제시하고 있다. 가시광 통신 부분에서는 백색 LED와 적외선 IRED를 이용하여 1:N 형태의 전이중 가시광 통신이 가능함을 보이고 있다.

가시광 센서네트워크가 적용되는 예를 보이기 위해서 온도센서를 적용하고 LabVIEW를 이용하여 온도 모니터링 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템을 실험한 결과 온도 데이터는 서버로부터 요청되어 정상적으로 전송되고 성공적으로 프로그램을 통해 표시되는 것을 확인 할 수 있었다.

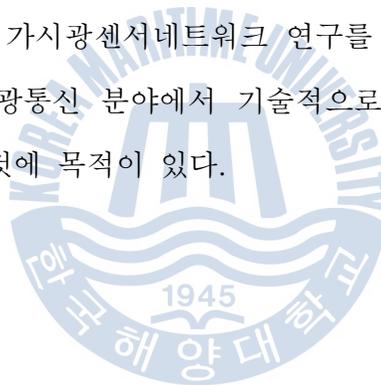
가시광통신(시리얼통신) 영역에서 전송속도는 일반적으로 사용하는 전송속도 범위에서 가장 빠른 115.2kbps까지 아무런 문제없이 통신이 가능했고, 자동 광세기(AOD) 검출기를 제외한 상태에서 최대 60cm까지 통신이 가능함을 보였다.

시스템의 불편을 개선하고 이동성 및 적응성을 증대시키기 위하여 자동 광세기 검출기(AOD)를 설계하고 적용하였다. AOD를 적용한 결과 보다 원활하게 통신이 되고 통신가능거리가 60cm에서 최대 1.9m로 3배 이상 향상되는 것을 확인 할 수 있었다.

앞으로 AOD의 알고리즘과 프로세서를 개선하고 각종 프로토콜 변환성능을 개선하여 가시광 통신의 물리적 연결 성능을 향상하고 다양한 프로토콜을 지원하며 더욱 빠른 전송률을 지원할 수 있도록 하여, 센서네트워크 뿐만 아니라 고화질 비디오 전송과 인터넷이 가능하도록 더욱 연구해야 할 필요가 있다.

LED 가시광통신의 경우 아직 기술이 초기단계에 있으며 표준화도 활발히 진행되고 있는 새로운 통신기술이다. 뿐만 아니라, 전력선통신과의 연계한 형태의 가시광 센서네트워크는 아직 그 연구 자료가 많지 않고 고도화 된 기술이 없는 만큼 활발히 연구하여 기술경쟁력을 확보할 필요가 있다. 가시광 통신은 앞으로 새로운 성장 원동력으로 많은 부가가치를 낼 수 있는 충분한 가능성이 있다.

본 논문은 전력선기반 가시광센서네트워크 연구를 통한 기초자료 확보와 어플리케이션 개발로 가시광통신 분야에서 기술적으로 우리나라의 입지가 더욱 유리할 수 있도록 하는 것에 목적이 있다.



참고문헌

- [1] 배영철, 조의주, 이송이, 김주은, “가시광통신(VLC)의 기술 동향 및 이용 활성화 방안 연구”, 한국전파진흥원, 2009. 1. 31.
- [2] ITC Standardization Roadmap 2010, pp.341-399, TTA, 2010.
- [3] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원, “LED 조명과 가시광 무선통신의 융합기술 동향분석”, 전자통신 동향분석 제23권 제5호 pp.32-39, 2008.
- [4] 小峯敏彦, 田中裕一, 春山真一郎, 中川正雄, “白色LED 照明을 用いた 照明光通信の提案”, 信学技報, OCS2001-71, 2001.
- [5] 김용원, LED 광원 응용기술, LED 광원기술과 응용 워크숍, 2007.
- [6] 강태규, LED산업 및 최신기술 동향II, LED 빛으로 통신하는 가시광 무선 기술 소개, 2008
- [7] OMEGA project. <http://www.ict-omega.eu>
- [8] Javaudin, J.P., Bellec, M., Varoutas, D., and Suraci, V.: "OMEGA ICT project: Towards convergent Gigabit home networks", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC IEEE 19th International Symposium on , vol., no., pp.1-5, 15-18 Sept. 2008
- [9] IEEE: IEEE 802.15 WPAN Visual Light Communication Study Group (IGvlc) <http://www.ieee802.org/15/pub/IGvlc.html>, 2008
- [10] T.Komine, Y.Tanaka, S.Haruyama, and M.Nakagawa, "Basicstudy on visible light communication using light emitting diode illumination," Proc. 8th International Symposium on Microwave and Optical Technology (ISMOT 2001), pp.45-48, Montreal, Canada, 2001
- [11] 황명근, LED 조명 산업기술 동향, LED 조명산업과 통신 산업 융합 가시광 무선통신 표준 기술 워크숍, pp.21-26, 2007

- [12] Heejin Lee, Hiroyuki Yotsuyanagi, Kyungrak Sohn, Masaki Hasizume, Feasibility of Operating Point Estimation in Lighting Circuit with Measured I-V Characteristics of LEDs, ITC-CSCC2011, 2011. 6. 19.
- [13] 최병삼, 차세대 광원 LED의 부상과 대응방안, SERI경제포커스, 2007
- [14] M.G. Craford, "LEDs Challenge the Incandescents", IEEE Circuit and Device, pp.24-29, Sep, 1992
- [15] LED 기술 및 사업화 동향, 전자부품연구원, 2008
- [16] Bouchet, O., El Tabach, M., Wolf, M., O'Brien-Dc, Faulkner, G.E., Walewski, J., Randel, S., Franke, M., Langer, K.-D., Grubor, J., and Kamalakis, T.: 'Hybrid Wireless Optics (HWO): Building the Next-Generation Home Network'. submitted to CSNDSP08, Graz Austria, August 2008
- [17] Visible Light Communications Consortium, www.vlcc.net, 2008
- [18] 임상규, "LED 조명용 가시광무선통신 PHY/MAC 기술", ETRI, 2010
- [19] 신흥석, 최정석, 이경우, 박성범, 정대광, 이영민, 박진우, "무선 가시광 통신을 위한 MAC Protocol에 대한 연구, 삼성전자, 고려대학교, 2010
- [20] Grantham pang, Tomas Kwan, Chi-ho Chan, Hugh Liu, "LED Traffic Light as a Communications Device", The university of Hong Kong
- [21] Y. Tanaka, et al, "Indoor Visible Communication utilizing Plural White LEDs as Lighting", PIMRC, 2001
- [22] M. Z. Afgani, et al, "Visible Light Communication Using OFDM", IEEE Trentcom, 2006
- [23] Jimmy C. Chau, Kurt Matarese, and Thomas D.C. Little, "IP-Enabled LED Lighting Supporting Indoor Mobile and Wireless Communications", Boston University, Boston, MA, 2010

- [24] Luo Rui, Ning Ti-gang, Li Tang-jun, Cai Li-bo, Qiu Feng, Jian Shui-sheng, Xu Jing-jing, "FTTH - a promising broadband technology", Key Lab. of all Opt. Network & Adv. Telecommun. Network, Beijing Jiaotong Univ., 2005
- [25] T. Komine and M.Nakagawa, "Integrated system of white LED visible-lightcommunication and power-line communication," IEEE Trans. Consum. Electron, vol.49, no.1, pp.71-79, Feb. 2003
- [26] ITC Standardization Roadmap 2008, pp.410-466, TTA, 2008.
- [27] 김용규, 주파수 관리정책의 동향과 정책과제, 경제규제와 법, 2008
- [28] Want, R., "An introduction to RFID technology", IEEE, USA, 2006
- [29] Navin Kumar, Nuno Lourenco, Michal Spiez, Rui L Aguiar, "Visible Light Communication Systems Conception and VIDAS", Portugal, 2008
- [30] J. Rufo, F. Delgado, C. Quintana, A. Perera, J. Rabadan, R. Perez-Jimenez, "Visible light communication systems for optical video transmission", 2010
- [31] 조성락, 백부근, 이동곤, 배병덕, 윤중휘, "전력선 통신의 선박 적용 연구", 한국해양대학교, 한국해양연구원, 2008
- [32] T. D. C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, "Using LED lighting ubiquitous indoor wireless networking," MCL Technical Report, No. TR-05-20-2008, pp. 1- 13, 2008.
- [33] O. Bouchet, et al "Visible-light communication system enabling 73Mb/s data streaming,"IEEE Globecom 2010 Workshop on Optical Wireless Communications, Miami, Florida, December, 2010.
- [34] H. J. Lee, Y. J. Kim, and K. R. Sohn, "Optical wireless sensor networks based on VLC with PLC-Ethernet interface," WASET, 81, 245-248 (2011).

부 록

```
while(1)
{
    if(iflag == 1)
    {
        CLI();

        for(i=0;i<1;i++)
        {
            temp = getchar();
        }

        if(temp == 'A') // or B
        {
            ADCSRA &= 0x7f;
            ADMUX = 0x40;
            ADCSRA |= 0xc0;

            al0 = ADCL;
            ah0 = ADCH;
            ch0 += al0 + ah0 * 256;
            rs0 = ch0 * 4.88 / 1024;
            rf0 = rs0 - err;
            tempmeter = rf0 * 18.7;

            if(tempmeter < 0)
            {
                tempmeter = 0;
            }

            PORTA = 0x01;
            Delay_ms(0); // if a case of B => 100
            printf("A,%.2f\r\n",tempmeter);
            PORTA = 0x00;

            ch0 = 0;
            rs0 = 0;
        }
        iflag = 0;
        SEI();
    }
    else
    {
        iflag = 0;
    }
}
```

표 A-1. 온도 측정 및 반환 코드

```

void Real_volt(int stb)
{
float rat[10],dif[10],adj[10];
int stbadj;

stbadj = -13;
stb = stb + stbadj;

if(stb <= 20)
{
realv = 0;
}
else if(stb <= 90)
{
dif[0] = stb - 20;
rat[0] = dif[0] / 70;
adj[0] = rat[0] * 60;
realv = stb + adj[0];
}
else if(stb <= 140)
{
dif[1] = stb - 90;
rat[1] = dif[1] / 50;
adj[1] = rat[1] * (-8) + 61;
realv = stb + adj[1];
}
else if(stb <= 200)
{
dif[2] = 200 - stb;
rat[2] = dif[2] / 60;
adj[2] = rat[2] * 20 + 35;
realv = stb + adj[2];
}
else if(stb <= 260)
{
dif[3] = 260 - stb;
rat[3] = dif[3] / 60;
adj[3] = rat[3] * 33;
realv = stb + adj[3];
}
else if(stb <= 320)
{
dif[4] = stb - 260;
rat[4] = dif[4] / 60;
adj[4] = rat[4] * (-32);
realv = stb + adj[4];
}
else if(stb <= 380)
{
dif[5] = stb - 320;
rat[5] = dif[5] / 60;
adj[5] = rat[5] * (-15) - 38;
realv = stb + adj[5];
}
else if(stb <= 440)
{
dif[6] = 440 - stb;
rat[6] = dif[6] / 60;
adj[6] = rat[6] * 2 - 52;
realv = stb + adj[6];
}
else if(stb <= 500)
{
dif[7] = 500 - stb;
rat[7] = dif[7] / 60;
adj[7] = rat[7] * (-50);
realv = stb + adj[7];
}
}
}

```

표 A-2. DAC 오차 보정 코드