

# 거리 보상 기능이 내장된 가시광 통신 회로 설계와 구현

박정욱\*, 이용업<sup>o</sup>

## Design and Implementation of Visible Light Communication Circuit with a Built-in Distance Compensation Function

Jeong-Uk Park\*, Yong Up Lee<sup>o</sup>

### 요약

종래의 LED(Light Emitting Diode) 조명을 사용한 가시광 통신에서 송수신기 회로 사이의 통신 거리가 증가함에 따라 가시광 채널의 페이딩과 채널의 경로손실 특성으로 인해 가시광 수신 회로의 포토다이오드에서 수신된 신호는 불규칙한 크기이며 감쇠된 특성을 가진다. 이런 문제점을 극복하기 위해, 이 논문에서는 가시광 통신의 통신거리 확장을 위해 반드시 필요한 거리 보상 회로가 내장된 비교기 문턱 전압 기반의 가시광 통신 회로를 제안하여 설계하고 가시광 시스템 시스템을 구현한다. 또한, 구현된 문턱값 기반 가시광 통신 시스템을 통신 거리와 통신 시스템 속도에 따라 종래 가시광 통신 시스템과 비교하여 제안된 방식시스템의 성능을 분석한다.

**Key Words** : Visible light communication, Circuit design, Implementation, Distance compensation, Visible light channel characteristic

### ABSTRACT

In the visible light (VL) communication based on the conventional LED lights, depending on the increase of the communication range, the signal received at the photodiode of the VL receiver has usually the random distorted and decreased amplitude due to the path loss and fading effects of the VL channel. In order to overcome this problem, we propose, design, and implement the visible light communication circuit based on the comparator threshold voltage, where has a built-in distance compensation function. In addition, the performance of the proposed technique is evaluated and analyzed depending on the distance and communication speed through comparing the proposed VLC system based on the threshold voltage with the conventional one.

### I. 서론

가시광 통신은 가시광 전파를 이용한 통신으로 조명을 위해 공급되는 전기 신호를 매우 빠르게 변화시키면, 이런 변환 동작은 380~780 THz의 가시광 신호를 통신 변조하는 효과로 볼 수 있어, 통신이 가능하

다. 최근 그린 IT융합 연구 일환으로 LED 조명 인프라를 사용하여 가시광 통신을 이용한 여러 가지 서비스를 창출하는 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다<sup>1-3)</sup>. 이 논문 연구는 이런 연구의 일환이면서, 이전 연구<sup>4,5)</sup>인 간편한 비캐리어 변조 기반의 가시광 통신 기법의 확장 연구로, 기존의 가시광 통신 기법에서

\* 본 연구는 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2014R1A1A2054905)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2010-0023678)

• First Author : Hallym University, Dept. of Electronic Engineering, jwpark9023@hallym.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Hallym University, Dept. of Electronic Engineering, yulee@hallym.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2015-01-005, Received January 9, 2015; Revised March 23, 2015; Accepted March 23, 2015

통신거리 확장에 대한 가시광 채널의 경로손실 감쇠와 페이딩에 의한 신호 왜곡현상을 보상해 주는 거리 보상 기능을 보완한 새로운 가시광 통신 회로 설계와 구현에 대한 연구이다.

기존 가시광 송수신 회로에서는 LED 조명 신호의 빠른 스위칭 형식으로 가시광 신호를 일정하게 전송해도, 가시광 채널특성으로 인한 통신 거리에 의한 신호 감쇠와 인접 조명의 간섭 등으로 인해, 포토다이오드에서 일정한 세기의 가시광 수신에 힘들다. 그림 1의 가시광 통신 환경에서 통신거리에 따른 가시광 수신기의 포토다이오드에서 수신된 신호 크기의 페이딩에 의한 왜곡과 불규칙한 신호 감쇠를 볼 수 있다.

그림 1에서 가시광 통신용 송신기인 LED 조명이 변화 동작을 하면서 인근 지역에 조명과 통신신호를 전송하고, 포토다이오드가 내장된 가시광 수신기가 조명과의 거리 차이에 따라 (A) 그리고 (B)영역에 위치해 있다. 가시광 신호는 LED와 가시광 수신기 사이 거리에 따라 포토다이오드에 수신되는 신호의 세기가 다르게 수신되는데, (A)영역의 가시광 수신기에서 비교적 안정적으로 신호가 수신이 된다고 하여도, 상대적으로 거리가 먼 (B)영역에서는 가시광 통신 채널의 경로손실, 페이딩으로 인한 신호 감쇠 때문에 수신에 오류가 발생한다. 일반적으로 이전 연구 결과<sup>6,7)</sup>에 따르면, 통신 거리 증가에 따라 페이딩과 경로손실에 의한 수신 세기는 다음과 같이 주어진다.

$$E = I(0) \cos^m(\phi) / D^2 \cdot \cos(\psi') \quad (1)$$

여기서  $I(0)$ 는 LED 배열의 중심에서 조도이며,  $\phi$

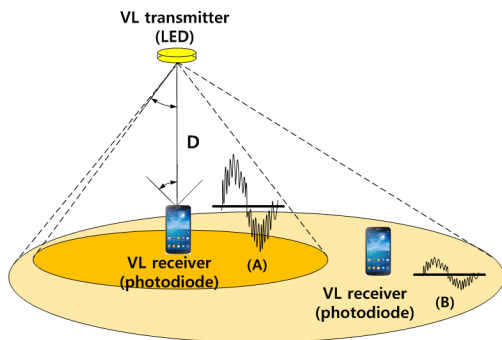


그림 1. 가시광 통신에서 채널의 페이딩과 경로손실로 인해 수신기의 포토다이오드에서 신호크기가 불규칙 수신되는 예. Fig. 1. An example of the random and distorted signal amplitude received at the photodiode of the receiver are random and distorted because of the channel characteristics of the fading and path loss in the visible light communication.

는 LED의 방사 각도,  $\psi'$ 는  $90^\circ - \psi$  로, 포토다이오드의 입사 각도를 나타낸 값이며,  $D$ 는 LED 배열과 포토다이오드 사이의 거리이다.  $m$ 은 람버틴(Lambertian) 방사 차수이다.

이 논문에서는 가시광 송수신기 사이의 거리를 확장할 경우, 생기는 가시광 채널의 페이딩과 경로손실에 따른 신호 감쇠왜곡을 보상하기 통신거리를 구역으로 나누어 정한 구간에서 미리 실험적으로 적합한 문턱값 전압을 정하고 이를 수신 신호 전압과 비교 보상하여 거리와 무관하게 안정된 수신 신호를 얻는 새로운 방법인 문턱값 기반의 가시광 통신 회로를 설계하고, 구현한다.

1장에서는 거리 보상 기능이 없는 종래 가시광 통신 시스템의 문제점, 이를 극복하는 논문 동기를 언급하였고, 2장에서는 제안 방법인 문턱값 기반 가시광 통신 시스템 방법론, 시나리오와 시스템 구조, 상위설계, 상세 설계된 회로에 대해 제안 설명하고, 3장에는 제안된 방법론에 따라 구현된 문턱값 기반 가시광 통신 프로토타입 시스템을 사용하여, 제안 시나리오의 검증실험을 알아보고, 4장에는 여러 가지 검증실험으로부터 얻어진 실험 결과와 토론이 있고, 5장에 결론을 서술한다.

## II. 문턱값 기반 가시광 통신 회로 설계

통신거리가 증대할 경우 경로 손실에 의한 신호감쇠 보상을 위해, 이 논문에서는 가시광 수신기의 포토다이오드에서 일정한 세기의 가시광 신호 수신을 위해 새로 문턱값 기반의 가시광 통신 기법을 제안한다. 문턱값 방식의 핵심 아이디어는 다음과 같다: 문턱값 방식은 통신거리를 미리 구역으로 나누어 정한 구간에서 통신 채널의 경로손실, 페이딩에 따른 수신 신호 감쇠를 미리 보상하는 방식인데, 미리 구역으로 나누고 실험적으로 미리 얻은 수신신호에 따라 문턱값 전압을 각각 생성하고 수신되는 전압과 기준전압을 비교기를 이용하여 비교하여 일정한 수신 전압을 얻는 방식이다.

### 2.1 상위 시스템 설계

제안 아이디어에 따라 문턱값 기반 가시광 통신 시스템을 구현하기 위해 기본 가시광 통신 시스템은 이전 연구인 비 캐리어 변조 가시광 통신회로를 참조로 하고, 핵심 회로인 문턱값 결정회로, 수신신호와 문턱값 전압 비교기 모듈을 설계한다. 그래서 구상한 문턱값 기반 가시광 통신 시스템 구조가 그림 2에 있다.

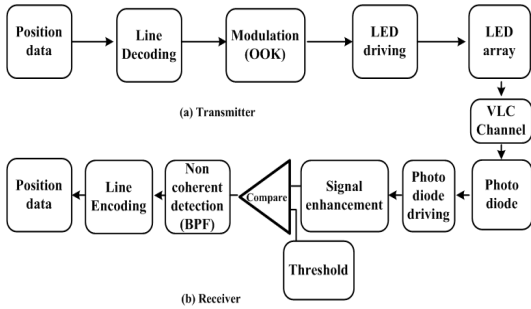


그림 2. 이 논문에서 제안한 거리 보상 기능이 포함된 문턱값 기반 가시광 통신 기법의 시스템 구조  
 Fig. 2. The system architecture of the threshold value based visible light communication built-in a distance compensation function proposed in this paper.

그림 2의 기본적인 가시광 통신 데이터 흐름은 다음과 같다. 송신부 데이터 소스에서 생성된 이진 디지털 신호는 선로 복호화를 통해, RS-232 신호에서 TTL 신호로 변환되고, 다시 이 신호는 별도의 캐리어 주파수가 없이 온오프키잉 (on-off keying, OOK) 변조된 신호로 변환된다. 이 변조된 신호는 LED 구동 회로에 의해 구동되는 LED 배열을 통해 빠르게 변환되는 전기 신호에 비례하여 가시광으로 변환하고, 380 ~ 780THz 범위의 가시광 채널로 방출이 된다.

방출된 가시광 신호들은 페이딩, 경로 손실 등의 가시광 채널 특성에 의해, 신호감쇠, 왜곡현상을 경험한다. 가시광 수신기의 포토다이오드에 도착한 신호는 다시 가시광에서 전기 신호로 변환되고, 수신된 전압 크기는 통신거리에 일정하지 않고, 통신거리가 큰 경우, 수신 신호전압이 매우 미약하여, 연산증폭기를 사용해 증폭시킨다. 그런데, 증폭된 신호는 통신 거리에 따라 여러 가지 크기를 가지므로, 증폭기 이후의 나머지 수신기 회로에 일정한 크기의 전압을 유지하려면, 거리 보상 기능을 수행하는 문턱값 전압 생성과 수신 전압과 비교하는 회로가 필요하다. 종래 가시광 통신 회로에서는 이런 거리 보상 기능이 없다. 이 논문에서는 제안한 거리 보상 회로에 대한 구체적 원리는 다음과 같다.

그림 2의 문턱값 처리 블록에서 문턱값 전압은 통신 거리에 따라 영역을 나누고, 각 영역에 해당 하는 기준전압을 선택한다. 다시 말해, 통신거리를 미리 구역으로 나누어 가시광 채널 특성인 경로손실 효과에 의한 신호 감쇠를 보상하기 적절한 전압으로, 문턱값을 정하고, 이를 포토다이오드에서 수신된 신호와 비교한다. 즉, 수신신호가 문턱 값보다 클 경우 5V 출력, 수신신호가 문턱 값보다 작을 경우 0V의 일정한 출력

이 된다. 이는 특정 통신 범위에서는 통신 거리 차이가 있어도 이를 보상하는 효과를 제공한다. 비교기 출력신호는 다시 선로 부호화를 거쳐 RS-232 신호 형식으로 변환되어 출력된다. 그림 2에서 제안된 시스템 구조 또는 방법론에 따라 실제 구현될 문턱값 기반 가시광 통신 시스템의 주요 스펙, 부품과 시스템 규격은 표 1에 있다.

표 1. 제안시스템의 주요 스펙.  
 Table 1. Major specification of the proposed system.

spec	description
visible light transmitter	<ul style="list-style-type: none"> <li>White LED : LUW50343 (<math>\Phi = 5mm</math> , 420 ~ 700nm , <math>I_v = 6500mcd</math> , <math>\Phi_{1/2} = 15^\circ / 20mA</math> ), 3x4 LED array</li> </ul>
visible light receiver	<ul style="list-style-type: none"> <li>Photodiode : TSL252R (dark current=4mA, output pulse rising-falling time=7us, response wave length=450-950nm, response 60%)</li> </ul>
communication distance	<ul style="list-style-type: none"> <li>0~300cm (distance between LED array and photodiode)</li> </ul>
modulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>non-carrier NRZ-OOK</li> </ul>
user interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>Docklite v.2.0 software</li> </ul>
communication speed	<ul style="list-style-type: none"> <li>9600 bps</li> </ul>
threshold voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>0~100cm(distance between LED array and photodiode ) : 3.05V</li> <li>0~200cm : 1.30V</li> <li>0~300cm : 0.36V</li> </ul>

## 2.2 가시광 송신기의 상세회로

가시광 송신기의 상세 회로는 그림 2의 가시광 통신 시스템 전체 구조와 표 1의 시스템 규격에 따라 설계 되었다. 구체적으로 다음과 같다. 각 소자를 구동하기 위한 전원부와 RS-232 to TTL 신호 변환에 필요한 선로 구동기, OOK 변조를 위한 AND, NOT 소자, 그리고 LED 배열과 LED를 구동하기 위한 트랜지스터로 구성된다. 그림 3은 그림 2의 선로 복호화 기능의 상세회로이며, 신호 흐름은 다음과 같다. 데이터 소스에서 생성된 이진 디지털 데이터는 RS-232형식으로 RS-232 인터페이스 회로를 거쳐 선로 복호화 회로인 MAX232CPE IC에 전달되어, 이진 디지털 TTL 신호로 변환된다.

그림 4는 그림 2의 LED 구동부, LED 배열 상세 회로이며, 동작은 선로 복호화 회로를 거친 신호는

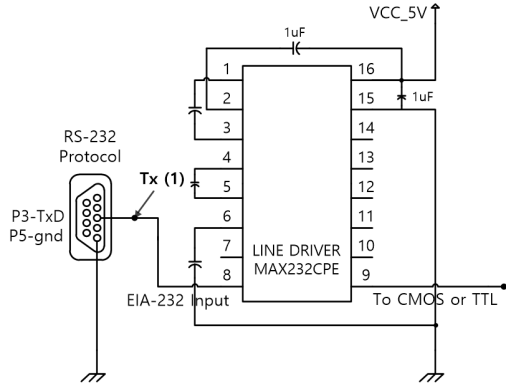


그림 3. 그림2의 선로복호화 상세회로  
Fig. 3. The detailed view of the line decoding circuit in the Fig. 2.

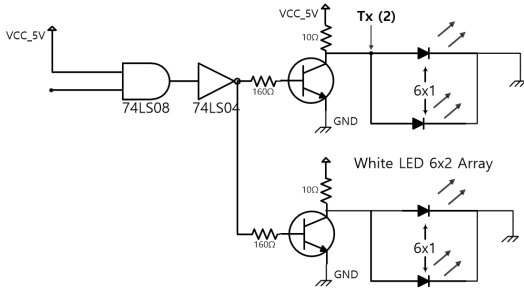


그림 4. 그림 2의 LED 구동과 LED 배열 상세회로  
Fig. 4. The detailed view of the LED array and LED driving circuit in the Fig. 2.

OOK 변조를 위해 논리 ‘1’인 5V 신호와 함께 74LS08 AND 소자에 입력된다. AND소자를 거친 신호는 디지털 데이터가 생성되지 않는 상태에서도 LED 조명 역할을 위해 74LS04 NOT소자를 통해 역변환 된다. 이 신호는 npn형식의 MPS2222A 트랜지스터의 베이스 단으로 입력되어 빠른 스위칭 작용을 통해 LED를 제어하게 된다. 이 때 트랜지스터 MPS2222A의 스위칭시간이 35ns, 285ns로 굉장히 빠르므로, 9600bps 통신 환경에서 한 비트 간격이 대략 80us 임을 감안 할 때 원활한 스위칭이 가능하다. LED의 배열은 6x2로 전류 증대를 유지하기 위해, 트랜지스터 2개, 하나의 트랜지스터에 6개의 LED를 병렬 연결하였다.

### 2.3 가시광 수신기의 상세회로

가시광 수신기의 상세회로 설계도 송신기 설계 과정과 유사하게 그림 2의 가시광 통신 시스템 구조와 표 1의 스펙에 따라 진행되었다. 9V 배터리 전원부와 이를 정전압 변환하여 TTL IC에서 사용하는 5V 전압

을 생성하는 LM7805CT와 관련 회로가 있고, 가시광 채널을 통해 수신된 가시광 신호를 전기 신호로 변환시키는 포토다이오드인 수광소자와 관련 구동회로, 수신된 신호를 증폭하기 위한 증폭부, 수신회로에 일정한 크기 전압을 유지하기 위한 신호 크기 조정부, 기저대역 검파부와 신호 부호화를 위한 레벨 변환부로 구성된다. 가시광 수신기의 상세 회로에서 데이터 흐름은 다음과 같다.

송신부의 LED배열에서 생성된 가시광은 가시광 채널을 통해 그림 5의 포토다이오드회로에 수신된다. LED에서 생성된 가시광 신호가 포토다이오드에 수신할 때, 신호 크기는 송수신기 사이의 통신 거리에 따라 가시광 채널의 경로손실 특성에 의해서, 불규칙 또는 급격히 감소하는데 이를 보상하기 위하여 그림 6에 있는 LM358 IC 증폭기를 통해 적절히 증폭하여 보상하는데 증폭기 이득은 일반적인 비반전 연산증폭기와 동일하며, 다음과 같다.

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times V_{IN} \quad (2)$$

가시광 수신기의 포토다이오드에서 수신한 신호에는 인근 조명에 의한 가시광 간섭과 잡음도 포함되어 있는데, 증폭할 경우 이를 고려해야 한다. 신호, 간섭과 잡음 등이 포함된 증폭된 수신 신호를 적절히 처리하기 위해 문턱값 생성과 LM339 비교기 관련 회로가 사용된다.

그림 7에 문턱값 생성 회로와 비교기 회로의 상세도가 있다. 증폭된 신호는 LM339 비교기에서 페이딩과 경로손실인 가시광 채널특성에 의한 신호 감쇠 왜곡을 보상하기 위해, 통신 영역에 따라 미리 적절히 설정한 기준전압과 비교를 통해 증폭 수신된 신호가 기준 문턱값 전압보다 높으면 논리 1인 5V, 문턱값 전

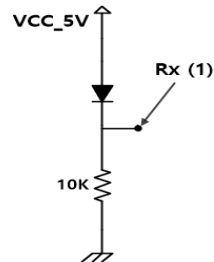


그림 5. 그림 2에서 포토다이오드와 포토다이오드 구동부의 상세회로  
Fig. 5. The detailed view of the photodiode and the photodiode driving circuit in the Fig. 2.

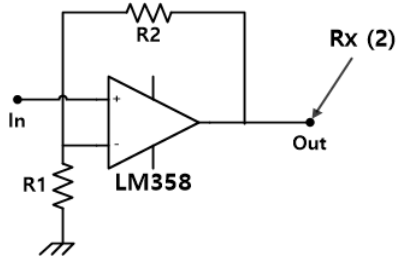


그림 6. 그림 2에서 신호증폭부의 상세회로  
Fig. 6. The detailed view of the signal amplification circuit in the Fig. 2.

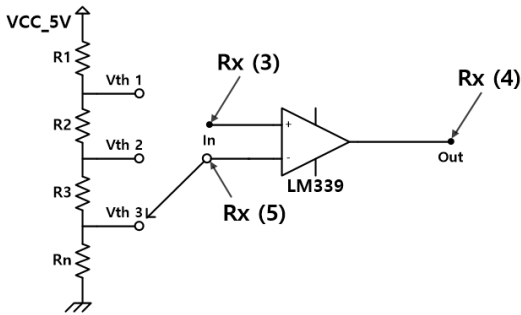


그림 7. 그림 2에서 문턱값 결정부의 상세회로  
Fig. 7. The detailed view of the threshold decision circuit in the Fig. 2.

압보다 입력된 신호가 낮으면 논리 '0'인 0V TTL 신호로 비교가 되어 출력된다. 통신 거리에 따라 미리 설정한 문턱값 전압은 다음과이다.

$$V_{Th_i} = \frac{R_{i+1} + R_{i+2} + \dots + R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \times V_{cc} \quad (4)$$

여기에서  $V_{Th_i}$ 는 거리에 따른 문턱값 전압이며,  $R_1$ 과  $R_2, R_{i+1}, R_{i+2}, R_n$ 은 그림 7의 회로 저항들이다. 그림 7의 LM339의 출력 TTL 신호는 그림8에서 선로 구동기인 MAX232CPE IC을 거쳐 원래 가시광 송신기의 데이터 소스에서 생성된 신호와 유사한 이진 디지털 신호로 복원이 된다.

### III. 시스템 구현과 실험

#### 3.1 시스템 구현과 실험 환경

제안된 문턱값 기반 가시광 통신 기법을 바탕으로 구현된 가시광 통신 프로토 타입과 이를 사용한 가시광 통신 실험 광경이 그림 8과 그림 9이다. 구현된 시스템을 사용한 실험은 통신 거리 0~300cm 거리를 가

진 실내 실험실 환경 내에서 수행되었고 구체적으로 실험 환경은 다음과 같다.

그림 9에서 중앙좌측 상단에 1 m 거리의 멀리 있는 가시광 송신기의 LED배열을 통해 가시광 채널로 방출된 조명과 가시광 신호는 중앙부 우측 하단의 가시광 수신기의 포토다이오드에 수신되며 올바른 통신결과 여부를 위해, 이 신호를 수신부 PC에서 확인한다. 구현된 가시광 송수신 프로토 타입에 전원공급기를 사용하여 전원을 인가한 뒤, 데이터 생성용 송신 PC, 수신 PC와 제작된 가시광 송신 프로토 타입, 가시광 수신기 프로토 타입에 각각 연결 하고 각 컴퓨터에 직렬통신용 소프트웨어를 설치하여 데이터 송수신을 관측하였다.

그림 9의 가시광 통신시스템에서 송수신 데이터 형식은 비동기 프레임이며 데이터 비트는 16비트, 정지 비트는 1비트, 패리티 비트는 사용되지 않았다. 사용자 인터페이스는 Docklite v2.0 소프트웨어를 사용하였으며, 통신 속도는 9600bps, 송신된 데이터는 송신 PC에서 Docklite 소프트웨어를 통해 Hex 형식의 데이터 (AB CD)를 1초 주기로 반복해 전송하였다. 통

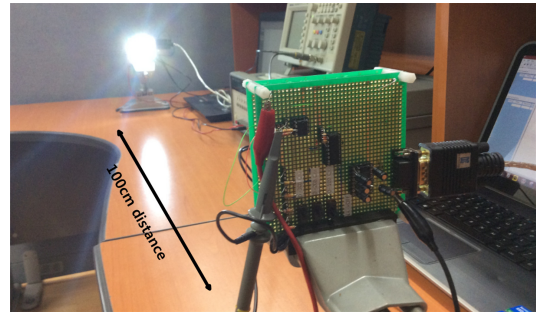


그림 8. 구현된 문턱값 기반 가시광 통신 프로토 타입.  
Fig. 8. The implemented threshold value based visible light communication proto type.

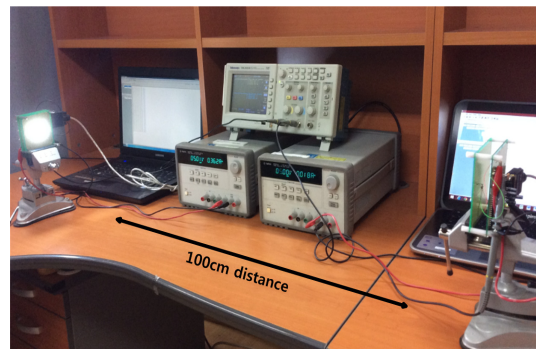


그림 9. 문턱값 기반 가시광 통신 실험.  
Fig. 9. The threshold value based visible light communication experiment.

신거리는 0 - 300cm 사이의 거리에서 10cm 간격으로 30회 실험 하였다. 회로내의 파형 측정용 오실로스코프는 Tektronix사의 TDS-2022B를 사용하였다. 실험 장소는 공학관 통신 연구실에서 진행하였고, 송신부 LED 배열과 인접조명인 일반 형광등의 간섭 외에는 다른 광원에 의한 간섭이 존재 하지 않는 야간에 진행되었다. 송수신부는 지상에서 90cm 에 위치하였으며, 수신부에서 인접조명인 일반 형광등에 의한 조도는 263 Lux 값으로 측정되었다. 송수신부 사이에는 송수신을 방해하는 별도의 장애물은 존재 하지 않아, 가시거리 통신이 보장되었다.

### 3.2 회로 검증 실험

그림 9의 가시광 통신 실험에서 회로 검증을 위해, 회로 내 흐르는 신호 파형의 측정 결과는 다음과 같다. 송신 PC에서 Hex 형식의 데이터 (AB CD)를 입력하여 얻은 RS232 출력 파형과 LED 배열의 출력전압 파형이 그림 10에 있다.

그림 10에서 그림 3의 Tx(1) 지점 파형은 송신 PC에서 출력된 RS232 신호로 +10 ~ -10v 사이의 값을 볼 수 있고, 이 신호는 선로 구동기인 MAX232CPE IC에서 TTL 신호 형식으로 변환되고 AND게이트를 통해 OOK 변조를 거친 뒤, NOT 게이트를 통해 위상이 반전되고 트랜지스터의 베이스 단으로 입력된다. 베이스 단으로 입력된 데이터 신호의 고속 스위칭을 통해 트랜지스터의 컬렉터단의 LED가 제어가 되는데 그림10의 그림 4의 Tx(2)에서 LED 배열의 파형을 확인 할 수 있다. 따라서 LED배열은 데

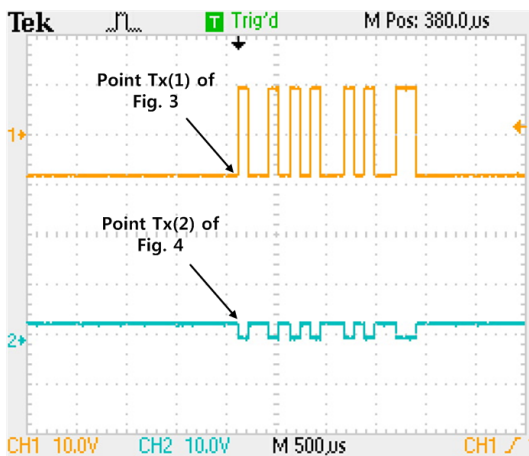


그림 10. 송신 PC의 RS232 출력 파형, 그림 3의 Tx(1) 지점 신호파형과 가시광 송신부의 LED 배열 출력 파형, 즉 그림 4의 Tx(2) 지점 파형  
Fig. 10. Output waveform at the RS-232 driver of the transmitting PC. i.e., Tx(1) and Tx(2) points.

이터 비트에 따라 가시광 신호로 변환되어 공간에 방출된다.

그림 9의 가시광 통신 프로토 타입의 수신회로에 흐르는 파형의 측정결과가 그림 11이다. 이 파형은 거리 50cm에서의 가시광 수신 파형이고 50cm에서 포토다이오드 Tsl-252r에서 측정되는 전압크기는 0.48V이다. 포토다이오드에서 측정된 가시광 신호는 통신거리 증대와 MAX232CPE IC의 최소 입력 전압 값을 넘기 위해 LM358 증폭기를 통해 9.3배 증폭되는데, 신호 파형 측정결과가 그림7이다. 포토다이오드에서 측정되는 전압 파형은 송수신 프로토 타입의 통신거리의 따라 값이 바뀌게 되는데 거리에 따라 MAX232CPE IC에 값이 변하지 않고 일정한 값을 입력하기위해, LM358을 통해 증폭된 신호는 LM339의 (+) 단자로 입력되어 기준전압과 비교하여 TTL 신호로 출력하게 된다. TTL 신호로 변환된 디지털 신호는 선로 구동기를 거쳐 다시 +10 ~ -10v 레벨로 변환되어 RS232 케이블을 통해 수신 PC로 전달된다.

이 논문에서는 포토다이오드를 통하여 수신되어 증폭된 신호를 거리에 따라 3구간으로 나누어서 LM339의 기준전압으로 정하였다. 그림 9에서 알 수 있듯이, 송수신간의 통신거리에 따라 포토다이오드에서 측정되는 전압 값이 다르기 때문에 0~100cm, 100~200cm, 200~300cm 로 간단하게 나누어 이 때 측정되어 증폭된 신호의 최대 차이의 평균인 중간으로 문턱값을 설정하였다. 구체적으로 다음과 같다.

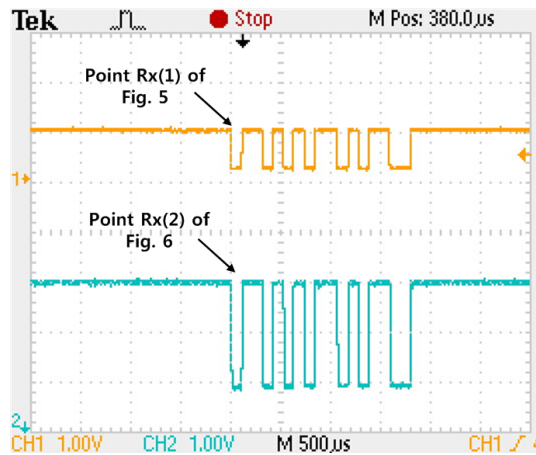


그림 11. 가시광 수신부의 포토다이오드 TSL-252r 측정 파형(그림 5의 Rx(1))과 LM358을 통해 9.2배 증폭된 파형(그림 6의 Rx(2))  
Fig. 11. Output waveform at the photodiode TSL-252r and the OP amplifier IC LM358, i.e., Rx(1) and Rx(2) points.

- 통신거리가 0~100cm 영역일 때, 문턱값 설정

그림 12는 통신거리가 0 ~ 100cm 사이 영역일 때 그림 7의 상세회로에서 스위치 조정으로 비교기의 기준전압이 되는 문턱 전압값이 다음과 같은  $V_{Th_1}$  값일 때의 파형이다. 통신거리가 0~100cm에서 비교기의 입력 전압값은 3.9V 이고, 문턱값인 기준전압은 입력 전압의 중간으로 설정하며, 다음과 같다.

$$V_{Th_1} = \frac{42k\Omega + 9k\Omega + 12k\Omega}{100k\Omega + 42k\Omega + 9k\Omega + 12k\Omega} \times 5V = 1.95V \quad (4)$$

- 거리가 100~200cm 사이일 때, 문턱값 설정

그림 13은 통신거리가 100~200cm 사이 일 때, 그림 7의 상세회로에서 스위치 조정으로 비교기의 기준전압이 되는 문턱 전압값이  $V_{Th_2}$  로 조정될 때 파형이다. 통신거리가 100~200cm에서 비교기의 입력 전압값은 1.3V이고, 기준전압은 다음과 같다.

$$V_{Th_2} = \frac{9k\Omega + 12k\Omega}{100k\Omega + 42k\Omega + 9k\Omega + 12k\Omega} \times 5V = 0.64V \quad (5)$$

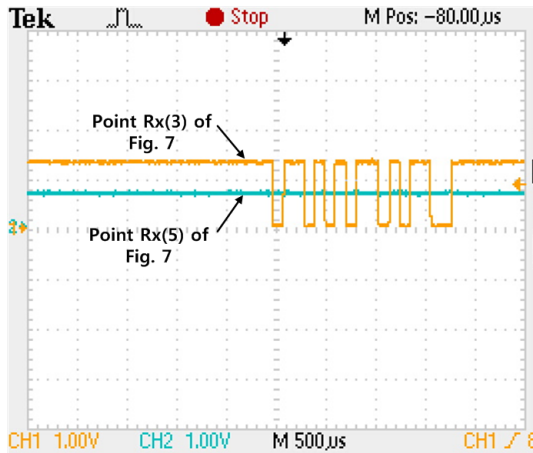


그림 12. 통신거리가 0~100cm에서의 비교기 LM339의 입력전압과 기준전압  
Fig. 12. Input and threshold waveform at the comparator IC LM339 under the range of the communication distance is 0~100cm.

- 거리가 200~300cm 영역일 때, 문턱값 설정

그림 14는 통신거리가 200~300cm 사이 일 때, 그림 7의 상세회로에서 스위치 조정으로 비교기의 기준전압이 되는 문턱 전압값이  $V_{Th_3}$  로 조정될 때의 파형이다. 통신거리가 200~300cm에서 비교기의 입력 전압값은 0.7V 이고, 기준전압은 다음과 같이 인가되었다.

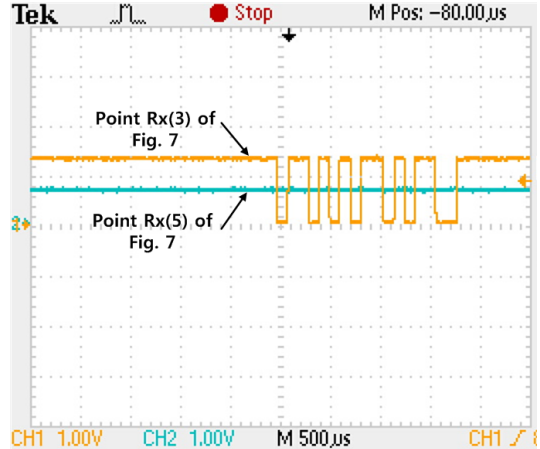


그림 13. 통신거리가 100~200cm에서의 비교기 LM339의 입력전압과 기준전압  
Fig. 13. Input and threshold waveform at the comparator IC LM339 under the range of the communication distance is 100~200cm

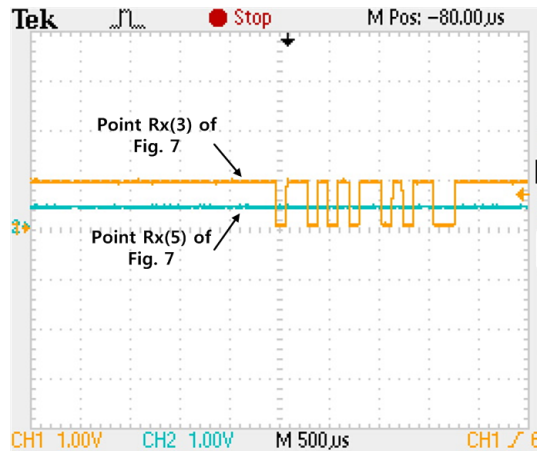


그림 14. 통신거리가 200~300cm에서의 비교기 LM339의 입력전압과 기준전압  
Fig. 14. Input and threshold waveform at the comparator IC LM339 under the range of the communication distance is 200~300cm.

$$V_{Th_3} = \frac{12k\Omega}{100k\Omega + 42k\Omega + 9k\Omega + 12k\Omega} \times 5V = 0.35V \quad (6)$$

비교기의 기준전압은 전원 5V 전압을 분배하여 3개의 덤스위치를 이용하여 구현하였으며, 통신거리에 따라 스위치를 조정하여 3가지의 문턱값을 설정하였다. LM339 비교기에 입력된 데이터 신호는 덤스위치를 통해 조정된 문턱값에 따라 비교되는데, 입력된 신호가 HIGH 값일 경우 문턱 값보다 크기 때문에 비교기 출력은 TTL HIGH 5V, 입력된 신호가 LOW 일 경우 문턱값보다 작으므로 TTL LOW 0V가 출력된다. 따

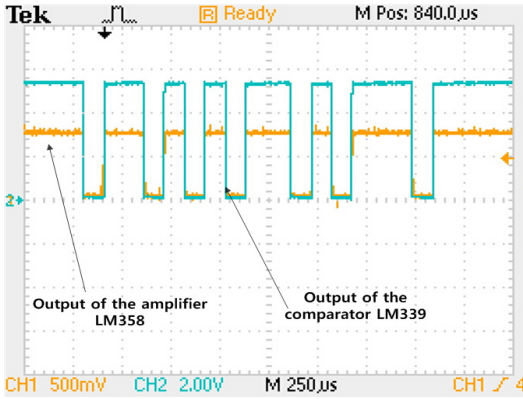


그림 15. 송수신 사이의 거리 300cm 에서의 LM358 증폭 파형과 LM339 비교기 출력 파형.  
Fig. 15. Output waveform at the comparator IC LM339 and the amplifier IC LM358 under the communication distance is 300cm.

라서 문턱값 기반 가시광 통신 시스템의 통신거리에 따라서 수신되어 증폭된 신호는 변하게 되어도 그 범위가 문턱값의 중간에 위치한다면 거리 변화에 상관없이 일정한 TTL 레벨의 출력을 얻을 수 있다.

그림 15는 증폭된 신호인 LM358 IC 출력과 문턱값과 비교된 LM339 IC출력이다. 300cm 거리에서 증폭된 값이 약 700mV 이지만, LM339 출력은 TTL 레벨을 확인 할 수 있다. 이 출력 신호는 MAX232CPE IC로 입력되어 레벨이 조정되어 RS232 시리얼 케이블을 통해 수신 PC로 전달되어, 송신 PC에서 보내 문자와 동일한 문자를 확인 할 수 있다.

#### IV. 성능 분석

가시광 채널의 페이딩, 경로손실에 의한 신호 감쇠와 왜곡을 보상하기 위해, 이 논문에서 구현된 문턱값 기반 가시광 통신 시스템을 사용하여, 그림 9와 같은 실험 환경을 실내 실험실에서 구축하고 여러 가지 통신거리와 통신 시스템 속도에 따라, 구현된 가시광 통신 프로토 타입으로 측정된 성능 분석 결과가 그림 16과 그림 17이다.

그림 16의 결과에서 실내 가시광 통신 채널 환경에서는 그림 1의 실외 환경과 다르게, 포토다이오드에서 측정된 전압이 거리 증가의 네 제곱에서 최대 여섯 제곱으로 수신 신호가 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 통신거리에 따라 급격히 감소한 포토다이오드 출력전압을 증폭했을 때, 100cm 이내의 가까운 거리에서는 일정한 전압이 출력되었지만 통신거리가 늘어남에 따라 증폭된 전압 값 또한 급격히 감소되어 일정

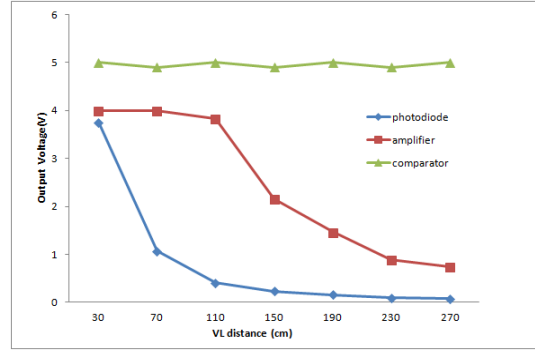


그림 16. 여러 가지 통신거리에 따라, 제안된 방식의 구현 프로토 타입에서 측정된 성능 비교  
Fig. 16. Performance comparison in the proposed and implemented prototype depending on the communication distance.

한 출력신호를 얻을 수 없다. 따라서 제안된 문턱값 기반 가시광 통신 시스템을 사용할 경우, 100cm 이후의 최대 270cm의 통신거리에서도 거리에 따른 경로 손실 효과가 없이 일정한 출력이 됨을 볼 수 있다.

제안된 문턱값 기반 가시광 통신 시스템의 통신시스템 속도에 따른 성능을 확인하기 위해, 종래 가시광 통신 시스템과 비교 분석 하였다. 실험 환경은 그림 9의 환경과 동일하게 Docklite v2.0 소프트웨어를 송신 PC와 수신 PC에 설치하고, 동일한 LED 개수의 가시광 송신 프로토 타입에서 송신 PC에서 57.6kbps, 115.2kbps, 128kbps, 256kbps 전송속도로 변경해 가며, 종래 가시광 통신 시스템과 제안한 문턱값 기반 가시광 통신 시스템에서 각각 실험을 총 100회 수행하여 얻은 결과가 그림 17에 있다.

그림 17에서 네 가지의 종류의 통신 속도에 대해서 기존의 가시광 통신시스템과 제안한 문턱값 기반 가

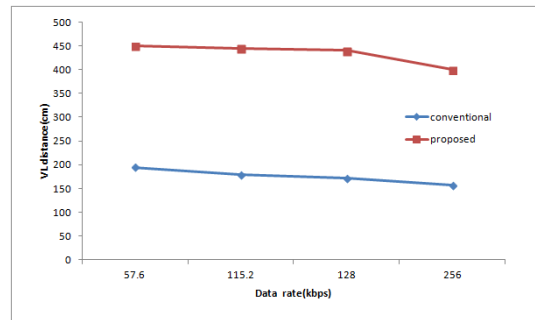


그림 17. 여러 가지 통신 시스템 속도에 따라, 제안된 가시광 통신 프로토 타입과 기존 방식사이의 통신거리 성능 비교  
Fig. 17. Performance comparison of the proposed prototype and the conventional scheme depending on the communication speed.



시광 통신 시스템의 최대 통신 거리가 있다. 두 방식 모두 통신 속도가 증가에 따라 통신거리가 다소 감소하였지만 제안한 가시광 통신 시스템의 최대 통신 거리가 기존의 가시광 통신 시스템에 비하여 두 배 이상 증가하였음을 볼 수 있다. 구체적으로 전송속도 256kbps에서 제안된 문턱값 기반 가시광 통신 시스템의 최대 전송거리는 기존의 가시광 통신 시스템에 비해 송수신 통신거리가 약 2배 이상인 약 400cm이었으며, 전송 속도에 따른 통신거리는 57.6kbps에서 약 450cm로 기존의 가시광 통신과 마찬가지로 전송속도가 느릴수록 최대 전송거리는 연장됨을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

통신거리 증가에 따른 신호 감쇠가 일어나는 종래 가시광 통신 시스템의 문제점을 개선하기 위해, 문턱값 기반의 가시광 통신 시스템을 제안하고 구현 하였다. 통신 거리 증가에 따라 채널의 경로손실, 페이딩에 따른 수신된 신호의 감쇠를 미리 보상하는 방식으로, 통신거리를 구역으로 나누어 정한 구간에서 미리 실험적으로 적합한 문턱값 전압을 정하고 이를 수신 신호 전압과 비교 보상하여 거리와 무관하게 안정된 수신 신호를 얻는 방법이다.

제안된 방법론에 따라 상위설계와 상세 설계된 가시광 송수신 회로를 제안하였고, 구현된 프로토타입을 사용하여 제안 방식의 타당성을 보이기 위해 회로 검증과 가시광 통신 실험, 설계된 회로내 신호 파형에 대해 소개하였다. 또한, 세 가지 통신거리 영역에서 문턱값 설정 예들도 들었다.

제안된 방식의 통신 거리에 대한 보상 성능분석 결과로 100cm 이후의 최대 270cm의 통신거리에서도 거리에 따른 경로손실 효과가 없이 일정한 출력이 되는 거리 보상 효과가 됨을 볼 수 있었고, 제안한 가시광 통신 방식의 최대 통신 거리가 기존의 방식에 비하여 두 배 이상 증가하였음을 볼 수 있다.

### References

[1] T. D. C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, "Using LED lighting for ubiquitous indoor wireless networking," in *Proc. IEEE WIMOB*, pp. 373-378, 2008.

[2] D. Obrien, H. L. Minh, L. Zeng, G. Faulkner, and K. Lee, "Indoor visible light

communications: Challenges and prospects," in *Proc. SPIE*, vol. 7091, pp. 1-9, Aug. 2008.

[3] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E86-B, no. 8, pp. 2440-2454, Aug. 2003.

[4] K. S. Lim, S. Baang, and Y. U. Lee, "Realization of non-carrier visible light communication system based upon LED IT," *J. KICS*, vol. 36, pp. 1117-1125, Sept. 2011.

[5] Y. U. Lee and Y. S. Kang, "Performance analysis and design of a carrier-based visible light communication circuit for LED IT Service," *J. KICS*, vol. 38c, pp. 787-796, Sept. 2013.

[6] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.

[7] V. Jungnikel, V. Phol, S. Nonning, and C. von Helmolt, "A physical model for the wireless infrared communication channel," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 631-640, Apr. 2012.

박 정 옥 (Jeong-Uk Park)



2014년 : 한림대학교 전자공학과 공학사  
 2014년~현재 : 한림대학교 전자공학과 대학원 석사과정  
 <관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광 통신

이 용 업 (Yong Up Lee)



1985년: 서울대학교 전자공학  
공학사

1987년: 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 공학석사

1996년: 한국과학기술원 전기  
및 전자과 공학 박사

2004년: 호주 UNSW 방문교수

2012년: 미국 펜실바니아 주립대 방문교수

1986년~1998년: (주) 삼성전자

1998년 현재: 한림대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광  
통신 시스템, 통계신호처리 알고리즘