

광(光)잡음 저감 기술을 이용한 차량용 가시광 통신시스템

김남선*

Vehicle Visible Light Communication System Utilizing Optical Noise Mitigation Technology

Nam-Sun Kim*

요약 LED는 조명뿐만 아니라 휴대폰, 자동차, 디스플레이 등과 같은 다양한 분야에 널리 사용되고 있으며, LED 조명과 통신이 융합된 가시광 통신(VLC)이 크게 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 일반적인 차량에서 사용되고 있는 적색, 황색 LED를 이용하여 차량 간(V2V) 데이터를 전송할 수 있는 차량 간 가시광 통신시스템을 직접 구현하고 실험하였다. 전위 차량에서 수집된 데이터와 속도 데이터인 서로 다른 데이터들을 차량의 후미등인 적색, 황색 LED를 이용해 NRZ-OOK로 변조하여 가시광으로 각각 전송했으며, 광 검출기(PD)는 가시광 신호를 수신하여 데이터를 복원한다. 형광등과 자연광의 간섭 광의 영향을 감소시키기 위해, 간섭제거를 위한 PD를 설치하였으며, 편광필터와 차동증폭기를 이용한 간섭제거기를 사용하였다. 제안된 가시광 통신시스템이 이상적인 경우, 실내 그리고 실외환경에서 성능을 분석하였다. 실외환경에서 약 30[cm]거리를 유지하고 4800[bps] 전송속도를 갖는 차량 간 데이터전송에서 적색 LED는 약 13.63[dB], 황색 LED는 약 11.90[dB]의 성능 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract Light Emitting Diodes(LEDs) are widely utilized not only in lighting but also in various applications such as mobile phones, automobiles, displays, etc. The integration of LED lighting with communication, specifically Visible Light Communication(VLC), has gained significant attention. This paper presents the direct implementation and experimentation of a Vehicle-to-Vehicle(V2V) Visible Light Communication system using commonly used red and yellow LEDs in typical vehicles. Data collected from the leading vehicle, including positional and speed information, were modulated using Non-Return-to-Zero On-Off Keying(NRZ-OOK) and transmitted through the rear lights equipped with red and yellow LEDs. A photodetector(PD) received the visible light signals, demodulated the data, and restored it. To mitigate the interference from fluorescent lights and natural light, a PD for interference removal was installed, and an interference removal device using a polarizing filter and a differential amplifier was employed. The performance of the proposed visible light communication system was analyzed in an ideal case, indoors and outdoors environments. In an outdoor setting, maintaining a distance of approximately 30[cm], and a transmission rate of 4800[bps] for inter-vehicle data transmission, the red LED exhibited a performance improvement of approximately 13.63[dB], while the yellow LED showed an improvement of about 11.9[dB].

Key Words : LED, Optical Noise Mitigation, Polarization, Visible Light Communication, V2V

1. 서론

최근 5G 이동통신의 등장으로 언제 어디서나 초고속 무선 통신을 통해 양질의 통신 서비스를 제공

받을 수 있게 되었으며, 무선기기의 급속한 확산과 광대역화 추세로 인해 주파수 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 향상된 데이터 전송 속도(data rate), 연결성(connection) 등의 서비스를 제공하기 위해서

* Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Daejin University(kimns@daejin.ac.kr)

Received November 20, 2023

Revised November 29, 2023

Accepted December 08, 2023

는 채널 주파수 대역폭(bandwidth)의 증가가 필수적이지만 사용 가능한 주파수는 한정되어 있어서, 주파수 부족 현상은 갈수록 심화될 것으로 예상된다. 이를 해결하기 위해 더 넓은 대역 자원을 가진 무선 통신 기술 개발이 요구된다[1].

최근 친환경 녹색 성장 운동이 활발히 전개됨에 따라 380nm~780nm 파장의 가시광을 이용하는 LED(Light Emitting Diode)가 많은 관심을 받고 있다[2]. LED는 전자파를 사용하는 기존의 무선 RF 통신과 달리 인체에 무해한 특성을 가지며, 기존 백열등에 비해 에너지 절감 효과가 매우 크고, 다양한 색상을 표현할 수 있을 뿐만 아니라 수은 등의 환경오염 물질을 사용하지 않고 고휘도의 빛을 발광할 수 있기 때문에 차세대 조명기기로 적극 활용되고 있다. 또한 LED는 적색, 녹색, 청색을 조합하여 다양한 광색 구현이 가능하기 때문에 디스플레이, 농업, 의학, 신호등, 자동차, 실내외 조명 등 다양한 분야에서 사용되고 있다[3].

LED는 ON-OFF 스위칭을 통하여 고속 디지털 변조가 가능하며 저 전력으로 스위칭 되는 디지털 소자로서, 수백 [KHz] 이상의 빠른 응답특성을 갖는다. LED를 조명뿐만 아니라 통신용 광원으로 활용할 수 있으며, LED 조명에 통신 기술을 융합하여 조명과 동시에 LED를 무선 통신용 광원으로 사용하는 가시광 통신(VLC, Visible Light Communication) 융합 기술은 조명기술과 무선통신 기술을 융합한 그린 IT 기술이다. LED라는 조명 기술과 ICT가 더해져 새로운 패러다임을 열고 있는 가시광 무선통신 융합 기술은 차세대 통신 기술로서 IEEE 802.15.7 VLC TG 에서는 가시광을 이용하는 단거리 무선통신으로 정의하고 있다[4].

본 논문에서는 MIMO(Multi Input Multi Output)개념을 갖는 적색(RED) LED와 황색(YELLOW) LED를 이용한 가시광 통신시스템을 구축하고 실험하였다. 자율주행 자동차 2대를 제작하여 전위 차량에서 수집된 데이터를 전위 차량의 적색(RED)/황색(YELLOW) LED 후미등으로 전송하게 하였다. 후위차량에서는 광 검출기(PD)를 사용하여 정보를 복원하였다. 가시광 통신시스템은 주로 근거

리 통신으로 구축할 수 있는데, 시스템을 구축하는 경우에는 RF를 이용하는 시스템과는 달리, 주변에 형광등이나 백열등 그리고 자연광과 같은 다양한 광원으로 인한 잡음 때문에 신호를 정확히 검출해 내지 못하는 성능감소의 문제가 발생한다. 본 연구에서는 잡음 광 등의 간섭을 줄이기 위해 잡음을 제거를 위한 PD를 따로 설치하였고, 편광필터와 차동증폭기를 이용하여 잡음의 영향을 감소시키는 잡음 제거기를 구성하였다. 시스템을 구성하여 이상적인 환경 그리고 실내와 실외의 환경에서 측정하고 분석하였고, 이를 통해 성능이 향상됨을 확인하였다. 그리고 실제 제작한 자율차량으로 차량 간 가시광 통신이 성공적으로 이루어졌음을 확인하였다.

본 논문은 문헌 [5]와 [6]을 기초로 하였다. 문헌 [5]에서는 송신부에서 하나의 데이터를 원신호와 반전 신호로 두 개의 LED로 전송하고, 수신측에서는 서로 직교하는 편광기와 차동증폭기로 잡음 광의 간섭을 제거하였으며, 문헌 [6]에서는 송신부에서 하나의 LED 광원에 수직 편광기를 부착하고, 수신측 2개의 PD 중 하나에는 수평 편광기와 나머지 PD에는 편광기를 설치하지 않고 차동증폭기를 이용하여 잡음 광을 제거하였다. 더불어 문헌 [1][3][7]에서는 LED 개수와 각도 등에 따른 변조특성과 PD의 응답 특성 등에 따른 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 일반 차량의 후미등으로 사용하는 적/황 LED를 이용하였다. 이 적/황 LED는 서로 파장이 다르므로 MIMO 시스템으로 볼 수 있고, 잡음 광에 의한 간섭을 제거를 위한 PD를 별도로 구성하였다. 자연 광이 있는 환경에서, 그리고 실제 자율주행 차량을 제작하여 가시광 통신을 적용한 것이 차이라고 할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 제안된 시스템의 송신부와 수신부를 설명하며, 3장에서는 구성된 시스템의 실험 결과들을 제시하고 평가한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 제시한다.

2. 제안된 VLC 시스템의 구성

주로 근거리 통신으로 구축하는 가시광 통신

(VLC) 시스템에서 아날로그 또는 디지털 입력신호는 LED의 펄스 신호로 직접 변조되어 통신을 하게 되는데, 송신부에서는 발광 소자인 LED를 통해 가시광을 송출하며, 무선 채널을 매체로 송출된 광신호는 광 검출기를 통해 전송된 빛을 받아 전기적인 신호로 복조하여 원신호를 복원하는 과정을 거친다[4].

2.1 송신 시스템

[그림 1]은 MCU, LED/Motor 드라이버와 LED로 구성되는 제안된 VLC 시스템의 송신부 블록도를 나타내고 있다. 차량 간 통신(V2V)시스템으로 구성한다면 전위차량으로 볼 수 있는데, 여기서 MCU는 센서로부터 수집된 주변 정보를 가지고 각 LED를 위한 정보 신호, 그리고 차량의 속도를 위한 모터 제어 신호를 생성한다. 또한 LED와 Motor을 안정적으로 동작하기 위해 LED와 Motor에 일정한 전류를 공급하는 드라이버(Driver)가 구성된다.

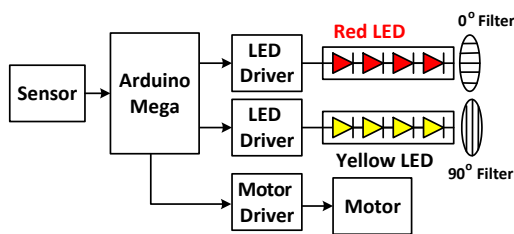


그림 1. 제안된 시스템의 송신부
Fig. 1. Transmitter of the proposed system

[그림 2]에서 LED Driver는 Transistor, NOT Gate, Resistor로 구성하였으며, 아두이노 메가(Arduino Mega)의 시리얼 통신 포트를 이용하여, 하강 에지(falling edge) 방식으로, NOT 게이트를 연결하여 평상시에 OFF 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 전송하고자 하는 신호에 따라 LED의 주입 전류를 변화시켜주면, 이 구동 전류에 직접 비례한 가시광 출력이 생성되는데, 이러한 변조 과정을 광 세기변조(IM, Intensity Modulation)라고 한다[7].

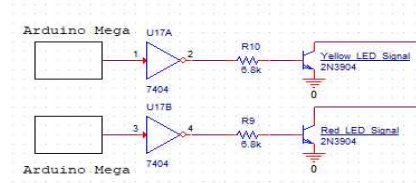


그림 2. LED 드라이버
Fig. 2. LED Driver

광 세기 변조방식은 디지털 신호 '1'과 '0'에 따라 광 세기를 'ON', 'OFF' 상태로 스위칭하는 방법으로 광펄스 열을 발생시켜 가시광으로 전송한다. 수신기에서는 광 검출 다이오드를 이용한 광 세기 직접검출(DD : Direct Detection) 방식으로 신호를 복조하는데, 입사되는 광신호 세기를 광 검출기(PD)로 검출한 후 그 신호 크기에 따라 전송된 신호가 디지털 신호 '1'과 '0'중 어디에 해당하는지를 판별하는 과정으로 이루어진다. 본 연구에서는 이진 변조 방식들 중에서 가시광 무선통신에 가장 적합한 변조방식인 NRZ-OOK(Non Return to Zero On-Off Keying)를 사용하였다[7].

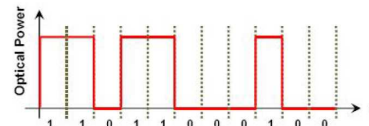


그림 3. NRZ-OOK 신호
Fig. 3. NRZ-OOK signal

여러 광색의 LED를 사용할 경우, 각각의 동작 전압에 따른 회로 구성 등에 어려움이 있으나, 데이터 전송속도를 향상시키는 데 매우 유리하다. 본 연구에서, LED는 일반적인 차량 후미등에서 사용하고 있는 적색(RED)과 황색(YELLOW) LED를 사용하였는데, 여기서 황색은 550~580nm, 적색은 645~700nm의 발광 파장을 갖는다. 본 연구에서는 서로 다른 색을 갖는 LED에 서로 다른 데이터를 전송하는 형태로 구성하였는데, 적색 LED는 센서로 수집된 차량 주변 정보를 전송하며, 황색 LED는 차량의 속도 정보를 전송하도록 하였다. 최종적으로 LED의 출력 광은 편

광필터를 통해서 신호를 전송하게 된다. LED의 출력 광은 편파특성을 갖지 않지만, 일정한 통과 축을 갖는 편광기에 통과시키면, 그 통과 축과 일치하는 선형 편파특성을 갖는다[5][6]. 본 연구에서는 잡음 광으로 인한 간섭의 영향을 줄이기 위해, 적색 LED 앞에 수평 방향(0°)의 통과 축을 갖는 편광필터, 황색 LED 앞에는 수직 방향(90°)의 통과 축을 갖는 편광필터를 각각 설치하여 전송하였다.

2.2 수신 시스템

[그림 4]는 가시광을 수신해서 데이터로 복원하는 제안된 VLC 시스템의 수신부 블록도를 나타내고 있다. 송신부에서 각각 LED로부터 전송된 신호광은 주변의 형광등 또는 자연광으로 이루어진 잡음 광과 함께 수신부의 광 검출기(PD)에 입력된다. [그림 4]에서, 각각의 PD 앞부분에 편광필터를 구성했는데, 이것은 동일한 편파특성을 갖는 LED의 광신호를 수신하고, 다른 광원 및 잡음 광의 간섭으로 인해 데이터에 오류가 일어나는 것을 방지하기 위해 구성했다. 그러나 수신부에서 각각 신호 광만을 검출하기 위해 동일한 통과 축의 편광필터를 갖는 2개의 PD만을 사용할 수 있지만, 본 연구에서는 간섭제거를 목표로 한 또 하나의 PD와 함께 총 3개의 광 검출기(PD)로 구성하였다. 이 3개의 PD는 적색 LED 광신호를 수신하기 위한 광 검출기, 황색 LED 광신호를 수신하기 위한 광 검출기 그리고 간섭을 제거하기 위해 구성한 광 검출기이다. 그래서 설치한 편광필터의 통과 축은 적색 LED 신호와 황색 LED 신호를 검출하기 위한 PD 앞에는 각각 수평축 편광필터(0°)와 수직축(90°) 편광필터를 설치하고, 잡음을 감소시킬 목적의 PD 앞에는 수평(0°)과 수직(90°) 축을 함께 갖는 편광필터를 구성하였다. 각 PD에서는 광 세기 직접검출(DD) 방식에 의해, 흡수된 신호의 광전력에 비례하여 전류를 생성한다. PD의 출력 전류를 TIA(Trans-Impedance Amplifier)가 전압으로 변환하고, 이 신호를 증폭하고 비교기를 거쳐 복원을 위한 신호를 만든다. Arduino Mega는 데이터를 복원하며, 자율주행 차량을 구성하는 경우 차량의 속도도 제어한다.

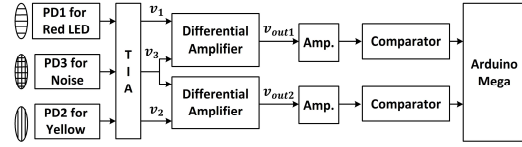


그림 4. 제안된 시스템의 수신부
Fig. 4. Receiver of the proposed system

신호 광을 검출하는 PD의 검출전압을 각각 수식으로 표현하면 다음과 같다[5][6].

$$v_1 = \rho_1 (C_{S1}P_{S1} + C_N P_N) R_{L1} \quad (1)$$

$$v_2 = \rho_2 (C_{S2}P_{S2} + C_N P_N) R_{L2} \quad (2)$$

$$v_3 = \rho_N C_N P_N R_{L3} \quad (3)$$

여기서 P_{S1} 그리고 P_{S2} 는 각각 적색 LED의 출력 광이 수평축의 편광필터를 통과한 후 방사되는 전력과 황색 LED의 출력 광이 수직축의 편광필터를 통과한 후 방사되는 전력이며, P_N 은 광 잡음 전력이다. 또한 C_{S1} 과 C_{S2} 는 각각의 신호 광이 각각 동일한 통과 축을 갖는 PD로 전달되는 광 결합계수를 나타낸다. 그리고 ρ_x 는 광 검출기(PD)의 응답도, R_{Lx} 는 부하저항이다. 동일한 특성을 갖는 LED, 그리고 동일한 응답특성을 갖는 PD들을 사용한다고 가정하면 $\rho_1 = \rho_2 = \rho_N = \rho$ 이고, 또한 $C_{S1} = C_{S2} = C_N$, $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_L$ 이라 한다. 차동증폭기의 전압 이득을 G 라 할 때 차동증폭기의 출력 전압은 각각 다음과 같다.

$$v_{out1} = G \times (v_1 - v_3) = G\rho C_S P_{S1} R_L \quad (4)$$

$$v_{out2} = G \times (v_2 - v_3) = G\rho C_S P_{S2} R_L \quad (5)$$

식(4)와 식(5)를 보면, 이상적인 경우 잡음 광이 제거되고 신호 광에 관련된 성분만 남는 것을 알 수 있다.

3. 실험 및 검토

가시광 통신시스템을 구성하고 다양한 환경에서 실험하여 그 결과를 확인해 보고자 한다. 편광필터

를 사용하지 않고, 기본적인 5 파이(ϕ) 적색, 황색 LED와 PD(SFH-213)의 거리에 따른 전송특성을 측정해 보았다. 실험 조건은 광이 전혀 없는 이상적 환경, 실내 및 실외로 구분하여 측정하였다. 이상적 환경은 형광등 등의 모든 광을 차단한 상태로 10[lx] 정도, 실내는 225[lx] 정도로, 약 2[m] 높이에 50[W]의 형광등들이 있는 환경, 그리고 형광등들과 외부의 자연광이 입사하는 950[lx]의 실외환경에서 측정하였다. 5[V] 진폭의 LED 변조 신호를 전송하고 일정 거리에서 PD의 검출전압을 확인하였다. [그림 5]에서, 검출전압의 값이 일정하게 감소하지 않은 것은 LED-PD가 정확히 일직선상에 정렬되지 않을 경우이며, 적색 LED가 황색 LED 보다 좋은 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

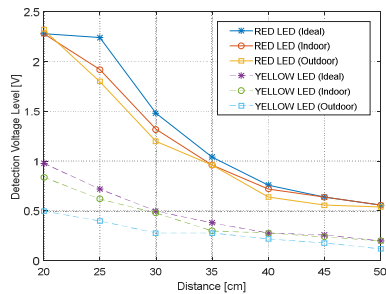


그림 5. 적색, 황색 LED의 전송특성
Fig. 5. Transmission characteristics of red and yellow LED

다음은 [그림 6]과 같은 2대의 자율주행 차량을 구성하여 데이터를 전송과정을 관찰했다.

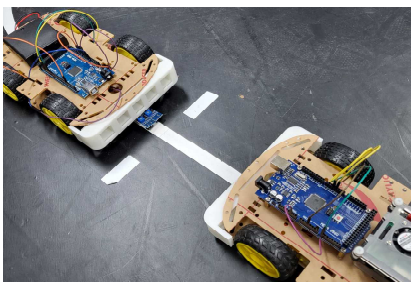


그림 6. VLC를 이용한 차량 간 통신
Fig. 6. V2V communication using VLC

직선거리를 이동하는 전위 차량과 후위 차량 간의 거리는 약 30[cm]를 유지하도록 하였으며, 2색의 LED 각각을 2x2 배열로 4개를 사용하였으며, 수신측은 서로 역할이 다른 3개의 광 검출기(PD)는 각각 2개씩으로 구성하였다. 또한 2.2절에서 설명한 대로, 각 LED와 각 PD들 앞에는 편광필터를 부착하였고, 적색 LED에서는 전위 차량의 센서로 수집된 장애물에 대한 데이터를 전송하며, 황색 LED는 전위 차량의 속도 정보를 전송하여 후위 차량이 이 정보로 전위 차량을 따라갈 수 있도록 하였다. [그림 7]은 실외환경에서, “person”이라는 문자열을 2진수로 변환한 54[bit]를 전송하는 경우 각 부분의 파형이며, 비교를 위해서 각각 측정된 파형을 겹쳐 표시하였다.

[그림 7(a)]는 송신측 적색 LED의 변조 신호이다. [그림 7(b)]는 PD1과 PD3의 출력신호, v_1 과 v_3 을 각각 보여주고 있다. v_1 은 TIA 회로를 거친 후 2배의 전압 이득을 갖는 비반전 증폭기를 거친 PD1에 대한 출력 파형이다. v_1 에는 적색 LED에서 전송된 광신호와 잡음이 더해진 신호가 입력되며, PD3에는 0°와 90° 편광 필터가 부착되어 있으므로, 잡음 신호가 입력되었다고 볼 수 있다. [그림 7(c)]는 v_1 과 v_3 의 차를 출력하는 차동증폭기 출력이며, 마지막으로 기준 전압을 가진 비교기를 거쳐서 파형을 포화시킨 뒤, 구형파 모양으로 만들고, 전압 분배를 통해 전압 크기를 낮춘 후, NOT 게이트를 거쳐서 [그림 7(d)]와 같이 원래 파형을 얻을 수 있다. 추출된 파형은 Arduino Mega로 들어가 정보 복조를 시작한다.

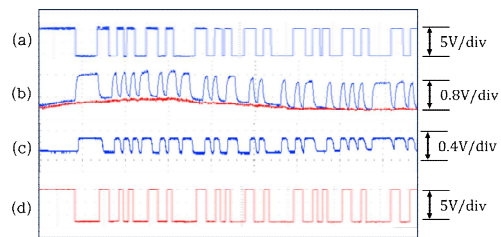


그림 7. 각 부분의 신호 (a) 적색 LED 신호 (b) PD1과 PD3의 검출신호 (c) 차동증폭기 출력신호 (d) 비교기 출력신호
Fig. 7. Signals of each part (a) RED LED signal (b) PD1 and PD3 detection signal (c) Differential amplifier output signal (d) Comparator output signal

[그림 8]은 황색 LED에 대한 차동증폭기 입, 출력 신호를 보여주고 있다. 동일한 환경에서 황색 LED는 적색 LED보다 빛의 세기가 약하므로, 잡음 광에 더 영향을 받을 것이므로, 매핑 과정을 거쳐 비트수를 줄여서 011011 0100를 반복 전송하였다. 그러나 차동증폭기 출력단 신호를 보면, 잡음이 여전히 포함되어 있지만, 비교기를 이용함으로써 원 데이터를 복원하는 데는 문제가 없는 것을 확인하였다.

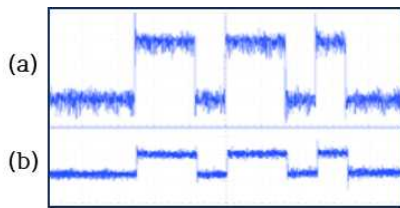


그림 8. 황색 LED 신호 (a) 차동증폭기 입력신호 (b) 차동증폭기 출력신호
 Fig. 8. YELLOW LED (a) Differential amplifier input signal (b) Differential amplifier output signal

[그림 9]을 바탕으로 실외에서 적색 LED에 대한 성능분석은 간섭제거를 사용하지 않은 시스템에 비해 약 13.63[dB] 정도 성능이 개선됨을 알 수 있다. 마찬가지로 황색 LED는 약 11.90[dB] 정도 개선됨을 알 수 있었다. [표 1]은 차량 간의 거리가 약 30[cm] 정도인 경우, 실내와 실외에서 간섭제거기를 통한 성능 개선 정도를 표시하였다.

표 1. 실내 및 실외에서 간섭제거기의 성능
 Table. 1. Interference canceller performance indoors and outdoors

	실내(225[lx])	실외(950[lx])
RED LED	13.98 [dB]	13.63 [dB]
YELLOW LED	12.91 [dB]	11.90 [dB]

4. 결론

가시광 통신은 조명용 LED 램프를 이용하여 빛

으로 데이터를 전달하는 통신 기술이다. 본 연구에서는 LED를 이용하여 차량 간 가시광 통신시스템을 직접 구성하여 실험하였다. 전위 차량의 전방 센서로부터 수집된 주변 정보와 속도 정보와 같은 서로 다른 정보를 차량의 적색, 황색 LED 후미등으로 후위 차량의 전방에 설치되어 있는 PD로 전송하며, 후위 차량은 이 정보를 수신하여 스스로 갑작스런 상황에 대처하고 속도를 제어할 수 있도록 하였다. 형광등 및 자연광으로부터의 간섭 광을 제거하기 위하여 간섭제거를 위한 PD를 추가로 사용하였으며, 편광필터와 차동증폭기를 이용한 간섭제거기를 구성하였다. 4,800[bps]의 전송속도로 실외 환경에서, 간섭제거기를 이용한 잡음개선 효과는 적색 LED는 약 13.63[dB], 그리고 황색 LED에 대해서는 약 11.9[dB] 정도 개선됨을 알 수 있었다.

차량 간 가시광 통신시스템을 구성하고 실험한 결과, 황색 LED에 대한 성능이 적색 LED보다 좋지 않았는데, 이것은 [그림 5]에서 표시했듯이, LED 자체의 성능이 좋지 않았기 때문이라 생각된다. 또한 참고 논문보다 성능의 개선이 부족한 것은, 본 연구에서는 실제 자율주행 차량을 구성하여 실험하였기 때문에 차량의 정렬 등의 문제와 함께, 실외환경에서 실험을 하였기 때문이라 본다. LED 개수의 증가와 고전력 파워 LED 등의 사용을 사용한다면 전송속도와 전송 거리에서 큰 향상을 이룰 것이라 생각된다. 또한 본 연구 결과를 바탕으로 다양한 색을 나타내는 LED를 이용한 차량 간 가시광 통신시스템 개발이 가능하리라 보며, 차량 간 인프라 통신(V2I) 그리고 지능형 교통 시스템(ITS) 등에 적용할 수 있는 기반이 될 것이라 사료된다.

REFERENCES

[1] H. W. Jung and S. M. Kim, "A Full-Duplex LED-to-LED Visible Light Communication System", Journal of Electronics, Vol. 9, Oct. 2020
 [2] T. G. Kang, S. H. Park, I. S. Jang and I. S. Kim, "The Convergence Technology Analysis of Green Growth LED Illumination",

- Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 24, No. 5, Oct. 2009
- [3] J. H. Yun and J. D. Ryeom, "Dimming Correction Scheme considering Luminous Characteristics of R, G, B LEDs in Visible Light Communication", Journal of Electrical Engineering and Technology, Vol. 15, No. 10, May 2020
- [4] <http://iee802.org/15/index.html>
- [5] D. H. Hwang and S. H. Lee, "Reducing the Effects of Noise Light in A Visible Light Communication System Using Orthogonal Polarizers", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 22, No. 5, pp. 560-567, 2011
- [6] H. J. Seok, "Reducing the effects of noise light using polarizers in a visible light communication", Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2011
- [7] C. J. Beom, "Analysis and Modulation of Optical Wireless Communication using LED Lights", Master's Thesis, Chonnam National University, 2011
- [8] J. H. Hwang, "A Research on VLAN and Positioning System based on Visible Light Communication", Ph.D. Dissertation, Soongsil University, 2013
- [9] A. Demba and D. Moller, "Vehicle-to-Vehicle Communication Technology", 2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology(EIT), pp. 0459-0464, May 2018
- [10] J. M. Lee, J. H. Kwon, J. W. Choi, and K. J. Park, "A Study on the LED-based Media Transmission Mechanics VLC System Module and Efficiency", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 6, No.1, pp. 51-56, 2013

저자약력

김 남 선 (Nam-Sun Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 석사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉 디지털 통신, 차세대 이동통신, 통신 네트워크