

무선 광통신에서 광전 궤환을 이용한 잡음 광의 영향 감소

Reducing the Effects of Noise Light in an Wireless Optical Communication Using Optoelectronic Feedback

황 다 현 · 이 성 호*

Da-Hyun Hwang · Seong-Ho Lee*

요 약

본 논문에서는 조명용 LED를 광원으로 사용한 무선 광통신 시스템에서 광전 궤환을 이용한 ASK 변조 방식을 사용하여 잡음 광의 간섭을 소거하였다. 광전 궤환 회로의 발진을 이용하여 70 kHz의 반송파를 자체적으로 생성하였으며, 입력 신호를 사용하여 궤환 회로의 단락과 개방을 반복함으로써 9.6 kbps의 데이터 속도로 출력 광을 ASK 변조하였다. 주변의 잡음 광이 존재하는 환경에서 광전 궤환을 이용한 ASK 변조 방식을 사용함으로써 신호대 잡음비가 약 25 dB 개선되었다.

Abstract

In this paper, we reduced the optical noise interference using the ASK modulation with optoelectronic feedback in a wireless optical system in which a lighting LED is used as a light source. The carrier frequency of 70 kHz was generated internally by the oscillation in the optoelectronic feedback circuit, and the output light was ASK modulated at a data rate of 9.6 kbps by opening and shortening the feedback loop with the input signal. In an environment with adjacent noise lights, the ASK modulation with optoelectronic feedback improved the signal to noise ratio by about 25 dB.

Key words : Lighting LED, Optoelectronic Feedback, ASK Modulation, Noise Reduction, Wireless Optical Communication

I. 서 론

발광 다이오드(Light Emitting Diode: LED)는 반도체의 PN 접합에서 자연 방출을 이용하여 빛을 생성하는 소자로서 크기가 작고 가벼우며, 기계적인 충격에 강하고 수명이 길어 통신용 광원은 물론 고휘력의 조명용 광원으로도 그 활용 범위가 점차 넓어지고 있다. 조명용 LED를 무선 광통신의 광원으로 사용하면 실내에서 조명과 통신을 겸할 수 있어 시스템의 구성이 간편하고 신호광의 존재 영역을 눈으

로 확인할 수 있어 사용하기에도 편리하다. 현재 많이 사용되고 있는 조명용 LED의 발광 파장은 대부분 400~700 nm 부근의 가시광선의 영역에 해당하며, 변조 대역폭은 수백 kHz 정도가 일반적이다.

실내에서 무선 광통신을 구축하는 경우에 광원으로 사용되는 LED의 신호광 이외에도 주변에 설치된 형광등이나 백열등과 같은 다른 조명 시설로부터 발생하는 빛 때문에 수신부에서 간섭이 나타나고, 그 결과 전송 과정에 에러가 발생할 수 있다. 이러한 잡음 광의 영향이 심한 환경에서는 잡음을 줄일 수 있

서울산업대학교 산업대학원 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Graduate School of Industry and Engineering, Seoul National University of Technology)

*서울산업대학교 전자정보공학과(Department of Electronic & Information Engineering, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 20100629-083

· 교신저자 : 이성호(e-mail : shlee@snut.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 8월 11일

는 방안을 고려하여 시스템을 구성하여야 한다^[1]. 신호광과 잡음 광의 파장이 다르거나, 편파 특성에 차이가 있는 경우에는 광 필터를 이용하여 비교적 쉽게 잡음 성분을 차단할 수 있지만^{[2],[3]}, 조명용 LED를 광원으로 사용하는 경우에는 그 파장이 형광등이나 백열등과 같이 가시광선에 해당하므로 광 필터를 사용하여 잡음 광을 소거하기 어렵다. 이러한 경우에는 광학적인 소거 방식보다 전기적인 소거 방식이 더 유리하다^[4]. 형광등이나 백열등과 같이 전력선에 연결하여 사용되는 조명 시설의 잡음 광은 대부분 120 Hz의 주파수를 가지므로, 대역 소거 필터를 사용하여 이 잡음 성분을 줄이거나 이 주파수보다 훨씬 높은 반송파를 사용한 변조 방식이 효과적인 잡음 소거 방법이 될 수 있다.

본 논문에서는 조명용 LED를 광원으로 사용하는 무선광 시스템에서 잡음 광의 간섭을 줄일 수 있는 새로운 방법으로, 조명용 LED의 광전 케환(optoelectronic feedback)을 이용한 ASK(Amplitude-Shift Keying) 변조 방식을 제안하고, 이에 대한 실험 결과를 소개한다. 이 구조에서는 LED 출력광의 일부를 수신하여 구동 회로에 피드백 함으로써 발진 회로를 구성하고, 발진 주파수는 ASK 변조에 필요한 반송파로 사용된다. 이 반송파를 변조하기 위하여 발진 회로 내에 스위칭 소자를 두고, 전송 데이터를 사용하여 발진 회로의 단락과 개방을 반복함으로써 ASK 변조된 출력광을 생성한다. 이와 같이 LED의 광전 케환을 이용하면 ASK 변조에 필요한 반송파를 생성하기 위하여 별도의 신호 발생기가 필요하지 않으므로 시스템의 구성이 간단하고, 잡음 광의 간섭을 소거하는 능력이 우수하다.

실험에서는 먼저 LED의 구동 회로에 광전 케환을 가하여 약 70 kHz의 반송파를 발생하였으며, 컴퓨터의 UART 단자에서 일반적인 전송 속도인 9.6 kbps의 데이터를 사용하여 ASK 변조된 출력 광을 생성하였다. 이어서 이 구조의 잡음 소거 능력을 측정하였으며, 조명용 LED로부터 수신부까지의 거리가 잡음 광의 거리와 동일한 강한 잡음 환경에서 약 25 dB의 신호대 잡음비의 개선 효과를 얻었다. 또한, 이 구조를 무선 광통신에 활용할 수 있는 한 예로서 ASK 변조 방식을 이용한 실내의 무선광 중계기를 구성하고, 송신부와 수신부 사이에 중계기를 경유한

무선광 전송 실험을 실시하였다. 신호광의 전송 경로상에 장애물이 존재하여 가시거리가 차단되는 경우에는 이와 같은 중계기를 사용하여 수신 영역을 확장시킬 수 있다.

본 논문에서는 제II절에서 광전 케환을 이용한 ASK 변조기와 수신부의 구조에 대하여 서술하고 송수신 파형을 관측하였으며, 제III절에서는 잡음 소거 효과를 측정하고, 이 구조를 무선광 중계기에 활용하는 실험을 실시하는 순서로 진행하였다.

II. 무선광 통신 시스템의 구성

2.1 광전 케환을 이용한 ASK 변조기

조명용 LED의 광전 케환을 이용한 ASK 변조기의 구조는 그림 1과 같다. 이 구조에서는 별도의 신호 발생기를 사용하지 않고 LED의 구동 회로에 광전 케환을 가하여 발진 회로를 구성함으로써 ASK 변조에 필요한 반송파를 자체적으로 생성한다.

그림 1에서 보는 바와 같이 FET1의 소스 전류로 구동된 LED에서 출력광이 생성되어 자유공간으로 방사되며, LED의 측면쪽으로 향하는 일부의 빛을 포토트랜지스터(PTR)로 검출하여 고역 통과 필터(HPF)와 증폭기를 통과한 후 다시 FET2의 게이트에 연결함으로써 발진 회로(oscillation loop)가 구성된다. 직렬로 연결된 2개의 FET 중에서 FET1은 전송 데이터에 따라 발진 회로가 ON/OFF 되도록 스위치의 역할을 하며, FET1이 ON 상태에 있을 때 FET2는 케환 신호에 비례한 전류를 LED에 공급하여 발진 상태를 유지하도록 만들어준다.

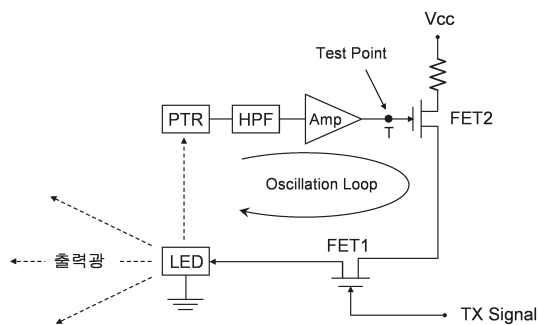


그림 1. 광전 케환을 이용한 ASK 변조기
Fig. 1. The ASK modulator using optoelectronic feedback.

FET1의 gate에 인가되는 전압이 high(5 V)인 상태에서는 궤환 회로가 발진 상태를 유지하여 반송파가 생성되며, Gate 전압이 Low(0 V)인 상태에서는 FET1에서 발진 회로가 차단되어 캐리어가 생성되지 않으므로 FET1의 게이트에 가해지는 전송 신호에 따라 ASK 변조된 신호광이 LED에서 출력된다.

실험에서 사용된 LED의 변조 대역폭은 약 150 kHz이며, 출력광의 중심 파장이 600 nm이고, 약 400~700 nm 정도의 넓은 파장 대역에서 빛을 발생하는 백색의 조명용 LED이다. 포토트랜지스터의 수신 대역폭은 부하 저항 100 Ω에서 약 70 kHz, 증폭기의 대역폭은 전압 이득 100에서 약 80 kHz, FET의 대역폭은 약 10 MHz이며, 이들은 모두 저역 통과 필터의 특성을 가지고 있다. 고역 통과 필터(HPF)는 차단 주파수가 약 100 kHz가 되도록 인덕터와 캐패시터를 사용하여 제작되었으며, 궤환 회로가 가능한 한 높은 주파수에서 발진하도록 사용된 것이다.

LED의 광전 궤환을 이용한 ASK 변조기의 발진 주파수를 예측해 보기 위하여 앞의 그림 1의 test point에서 발진 회로를 개방하고, 신호 발생기를 사용하여 FET2의 게이트에 사인파 전압을 인가한 상태에서 주파수를 증가시키면서 증폭기의 출력단에 나타나는 궤환 전압을 측정하였다. 발진 회로가 개방된 상태에서 주파수에 따른 전압 이득과 위상 변화를 측정된 결과는 그림 2와 같다.

그림 2의 상부 그림에서 곡선(a)는 발진 회로 내에 HPF가 없을 때의 전압 이득이며, 3 dB 차단 주파수가 약 40 kHz이다. 곡선(b)는 HPF의 통과 특성을

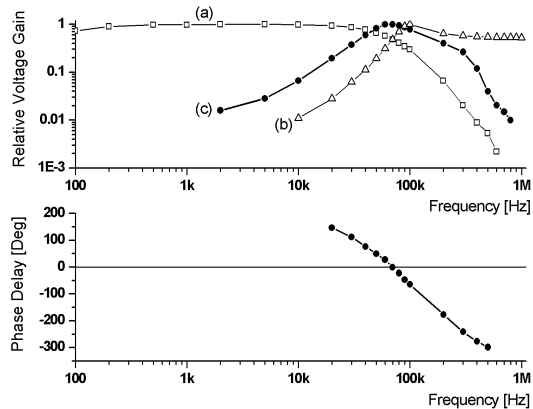


그림 2. 개방 회로 전압 이득과 위상 지연
Fig. 2. Open-loop voltage gain and phase delay.

나타내며, 약 100 kHz의 차단 주파수를 가지고 있다. 곡선(c)는 HPF를 궤환 회로에 삽입하였을 때 나타나는 전압 이득으로서 약 70~90 kHz 부근에서 최대값을 유지하였다. 측정값은 모두 최대값을 1로 정규화하여 표기한 것이다. 그림 2에서 하부의 그림은 고역 통과 필터를 궤환 회로에 삽입하였을 때 주파수에 따른 위상 지연(phase delay)의 변화를 나타내며, 약 70 kHz 부근에서 0도에 근접하였다. 궤환 회로의 전압 전달 함수를 $F(\omega)$ 라고 할 경우, 발진이 일어나기 위해서는

$$\text{이득 조건 : } |F(\omega)| = 1 \quad (1)$$

$$\text{위상 조건 : } \angle F(\omega) = 0 \quad (2)$$

이 충족되어야 한다^[5]. 그림 2의 상부 그림에서 보면 약 70~90 kHz 부근에서 궤환 회로의 전압 이득이 최대가 되며, 그림 2의 하부 그림에서 보면 약 70 kHz 부근에서 위상 지연이 0에 근접하므로 궤환 회로가 단락되었을 때, 이 주파수에서 발진이 일어날 수 있음을 쉽게 예측할 수 있다. 그림 3은 궤환 회로가 단락되었을 때 나타나는 발진 파형과 ASK 변조 파형을 나타낸다.

그림 3에서 파형(a)는 FET1의 게이트를 high 상태로 유지할 때 그림 1의 test point에서 검출되는 발진 파형으로써 약 70 kHz의 발진 주파수를 가지고 있으며, 이 상태에서 LED에 공급되는 전류는 약 100 mA의 AC 전류에 해당한다. 파형 (b)는 9.6 kbps의 데이터율로 전송되는 문자 “Q”에 해당하는 ASCII 코드의 디지털 전압 파형으로서 FET1의 게이트에 인가된 신호 전압이다. 이 신호는 마이크로프로세서의 UART와 RS232를 사용하여 생성한 전압으로서 오른쪽부

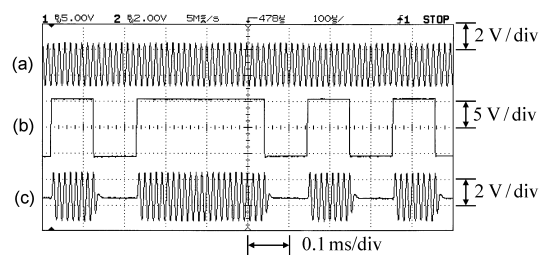


그림 3. 관측된 오실로스코프 파형. (a) 발진 파형, (b) 데이터 파형, (c) ASK 변조 파형
Fig. 3. Observed waveform on an oscilloscope. (a) Oscillation waveform, (b) Data waveform, (c) ASK modulated waveform.

터 왼쪽 순서로, Start bit(0)+Data 8 bit(Q: 1010001)+parity bit(0)를 나타내며, 각 비트에서 Low 전압은 “1”, High 전압은 “0”의 상태를 나타낸다. 마이크로 프로세서의 출력에 대한 각 비트의 High와 Low 전압이 바뀌는 것은 RS232칩을 통과하면서 High와 Low가 반전된 상태가 되기 때문이다.

파형(c)는 파형(a)의 70 kHz의 반송파가 파형(b)의 신호 전압에 따라 발진 회로가 ON/OFF되어 ASK 변조된 상태로서 그림 1의 test point에서 검출된 전압을 나타낸다. 그림 3(c)에서 보는 바와 같이 입력 신호가 high 상태를 유지하는 시간 동안 약 70 kHz의 발진 상태가 계속 유지되며, Low 상태에서는 발진 상태가 사라진다. 이 신호에 따라 LED는 ASK 변조된 조명광을 자유 공간으로 방사하게 되고, 수신부에서는 그 빛을 수신하여 원 신호를 복구하게 된다.

2-2 수신부 구성

송신부에서 ASK 변조된 조명광은 자유 공간으로 방사되어 수신부에 전달되며, 수신부에서는 이 신호를 검출하여 원신호를 복구하게 된다. ASK 변조된 조명광을 수신하여 원신호를 복구하기 위한 구조는 그림 4와 같다.

ASK 변조된 수신광이 포토트랜지스터(PTR)에 입사하여 광전류를 생성하면 이 신호가 증폭되고 고역 통과 필터(HPF)를 통과하면서 주변의 조명 시설에 의한 120 Hz 잡음 성분이 소거되며, 다시 진폭검출기와 판별 회로를 거쳐 원신호가 복구된다. 실험에 사용한 포토트랜지스터는 Kodenshi사의 NPN Si 포토트랜지스터 ST1-ML이며, 반응 파장 범위는 500~1,050 nm이고, peak wavelength는 880 nm이다. 광원으로 사용한 조명용 LED의 중심 파장이 약 600 nm 이므로 이 포토트랜지스터가 반응하는 파장의 범위

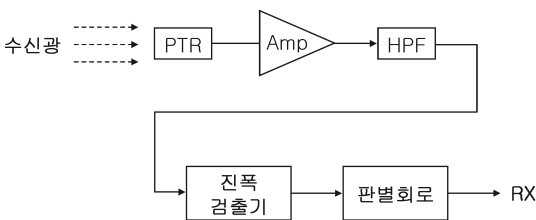


그림 4. ASK 광수신부
Fig. 4. ASK optical receiver.

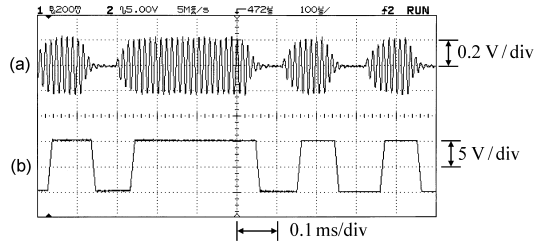


그림 5. 수신 파형. (a) ASK 수신 파형, (b) 복구된 데이터 파형
Fig. 5. The received waveforms. (a) ASK waveform, (b) The recovered data waveform.

에 놓여 있다. 고역 통과 필터(HPF)는 캐퍼시터와 인덕터를 사용하여 차단 주파수가 약 30 kHz가 되도록 구성하여, 70 kHz의 ASK 변조 신호는 잘 통과하고 120 Hz의 잡음 성분은 차단되도록 만들었다. 진폭검출기는 다이오드와 RC 회로로 구성되며, ASK 변조된 신호의 진폭 변화를 검출하고, 판별 회로를 통과하면서 0과 1의 상태가 복구된다.

그림 5는 수신 전압을 오실로스코프로 관측한 파형을 나타낸다. 그림 5에서 파형(a)는 수신부에서 고역 통과 필터를 통과한 후의 검출 전압이며, 파형(b)는 진폭검출기와 판별 회로를 거치고 난 후에 복구된 신호 파형으로서 포토다이오드와 증폭기의 대역폭으로 인하여 약 10 us 정도의 상승 시간이 존재하였다. 이 상태에서 9.6 kbps의 데이터율로 송신부에서 보낸 문자 “Q”에 해당하는 디지털 부호가 정상적으로 잘 수신되었다. 이와 같은 과정을 거쳐 ASK 변조된 신호광이 수신부에서 검출된다.

III. 잡음 소거 효과 및 활용

3-1 잡음 소거 효과 측정

LED의 광전 변환을 이용한 ASK 변조 방식을 사용하여 신호광을 전송한 경우에 얻을 수 있는 잡음 소거 효과를 확인하기 위하여 LED의 옆에 형광등을 설치하고 LED로부터 약 1.5 m의 거리에서 ASK 변조 방식과 base-band 전송 방식의 수신 파형을 비교하였다. 오실로스코프를 사용하여 관측한 수신 신호의 파형은 그림 6과 같다.

그림 6에서 파형(a)는 base-band 변조 방식을 사용하여 문자 “Q”를 5 ms 간격으로 반복하여 전송하는

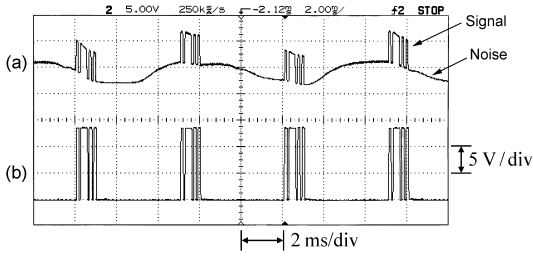


그림 6. 수신 파형. (a) Base band 변조, (b) ASK 변조
 Fig. 6. Received waveforms. (a) Base-band modulation, (b) ASK modulation

경우에 수신부에서 검출된 전압을 나타낸다. 여기에 서 디지털 부호는 신호 전압을 나타내며, 여기에 혼합되어 나타나는 약 120 Hz의 전압 변화는 형광등으로부터 유입된 잡음 전압을 나타낸다. 신호 전압의 진폭이 약 6 V일 때 잡음 전압의 진폭은 약 4.4 V이었으며, 이 상태에서 신호대 잡음비는

$$SNR_0 = 20 \times \log\left(\frac{V_{S_0}}{V_{n_0}}\right) = 20 \times \log\left(\frac{6}{4.4}\right) \approx 2.7 \text{ (dB)} \quad (3)$$

이다. 그림 6의 파형(b)는 ASK 변조 방식을 사용하는 경우에 수신부에서 검출된 전압을 나타내며, 120 Hz의 잡음이 거의 소거된 상태를 보이고 있다. 이 경우에 신호 전압의 진폭이 약 13.2 V일 때 잡음 전압이 약 0.2 V이었으며, 이 상태에서의 신호대 잡음비는

$$SNR_1 = 20 \times \log\left(\frac{V_{S_1}}{V_{n_1}}\right) = 20 \times \log\left(\frac{13.2}{0.5}\right) \approx 28.4 \text{ (dB)} \quad (4)$$

이었다. 따라서 base-band 전송 방식에 비하여 ASK 전송 방식에서 개선된 신호대 잡음비는

$$\Delta SNR = 28.4 - 2.7 = 25.7 \text{ (dB)} \quad (5)$$

이었다. 이와 같이 광전 변환을 이용한 ASK 변조 방식을 사용하면 주변의 조명 시설로부터 발생하는 잡음 광의 소거능력이 우수하기 때문에 조명용 LED를 사용하여 조명과 통신을 겸용하는 시스템을 안정적으로 구축할 수 있다.

무선 광통신은 주로 가시 거리 내에서 신호광을 수신하는 방식이므로, 실내의 전송 구간에 장애물이 존재하여 가시거리를 차단하는 환경에서는 LED의

조명광을 직접 검출하여 신호를 수신하기 어렵다. 이러한 경우에는 무선광 중계기를 설치하고, 이를 경유하여 수신부에 신호 전달이 가능하며, 중계기를 실내의 천정에 설치하는 경우에는 대부분 그 근처에 다른 조명 시설이 존재하므로 잡음 광에 강한 전송 방식이 필요하다. 광전 변환을 이용한 ASK 변조 방식은 잡음 소거 능력이 우수하여 이러한 환경에도 적합한 구조로 간주되어 그 활용성을 확인해 보기 위하여 이 구조를 중계기로 활용하여 무선광 전송 실험을 실시하였다.

3-2 무선광 중계기에 활용

무선광은 가시거리 구간에서만 전송되므로 실내에서 송신부와 수신부 사이에 장애물이 존재하여 신호광이 차단된 경우에는 천정에 무선광 중계기를 설치하여 전송 구간을 확장할 수 있다. 중계기를 실내의 천정에 설치하는 경우에는 그 근처에 형광등이나 백열등과 같은 다른 조명 시설이 설치되어 있는 경우가 대부분이며, 수신부에서 바라볼 때 잡음 광의 영향이 심한 환경이라고 할 수 있다. 따라서 이러한 환경에서는 잡음에 강한 전송 방식이 필요하다.

앞의 그림 1에서 소개한 조명용 LED의 광전 변환을 이용한 ASK 변조기는 잡음 소거 효과가 높아, 이러한 목적에 매우 적합한 전송 방식이다. 본 실험에서는 실내에서 많이 사용되는 RFID 리더와 관리자 PC 사이의 연결 케이블을 없애고, 이 구간을 무선광으로 대체하여 무선광 전송하는 실험을 실시하였다. 송수신부 사이에는 장애물이 놓여 있어 직접 검출하기 어려운 상태이며, 테이블로부터 약 1.5 m 높이의 천정에 중계기를 설치하였다. 중계기를 경유한 전송 구조는 그림 7과 같다.

RFID 리더의 Tx 단자에 800 nm 파장을 가진 적외선 LED를 광원으로 사용하고, 리더에서 검출된 태그의 정보를 9.6 kbps의 속도로 base-band 변조하여 중계기 쪽으로 방사한다. 중계기는 이 신호를 검출하여 파형을 복구하고, 다시 조명용 LED를 ASK 변조하여 자유공간으로 넓게 방사함으로써 장애물 너머로 LED의 조명광이 닿는 곳에서는 어디서나 수신이 가능하도록 만들어 준다. 수신부에서는 이 조명광을 검출하여 RFID 데이터를 복구하고 사용자 PC로 전달함으로써 전송이 이루어진다. 중계기의 수신부에

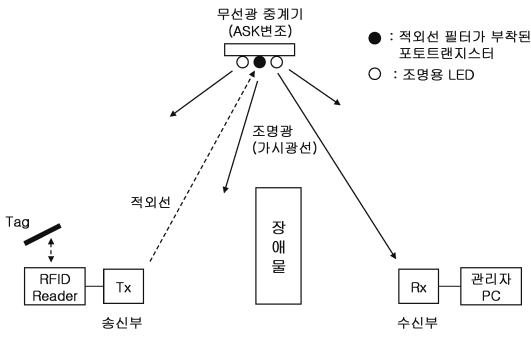


그림 7. 중계기를 이용한 무선 광전송
Fig. 7. Wireless optical transmission with a repeater.

는 적외선 필터가 부착된 포토트랜지스터를 사용하고, 중계기의 송신부에서는 앞의 그림 1과 같이 조명용 LED의 광전 변환을 이용한 ASK 변조기를 사용하였으며, 관리자의 PC에 연결된 수신부는 앞의 그림 4에서 보인 ASK 수신 구조이다.

실험에서 사용한 RFID 시스템은 125 kHz의 주파수를 사용한 유도결합형 RFID로서, EM Microelectronic사의 RF Front-end chip EM4095를 사용하여 실험실에서 제작한 것이며, RFID 태그는 EM Microelectronic사의 EM4102를 사용하였다. 중계기를 이용한 송수신 데이터를 오실로스코프로 관측한 파형은 그림 8과 같다.

그림 8에서 파형(a)는 RFID 리더에서 태그를 인식한 데이터인 “ID=1074139641”에 해당하는 디지털 전압 파형으로서 RFID에 연결된 적외선 LED의 전원선에 가해지는 신호 파형을 나타낸다. 그림 8의

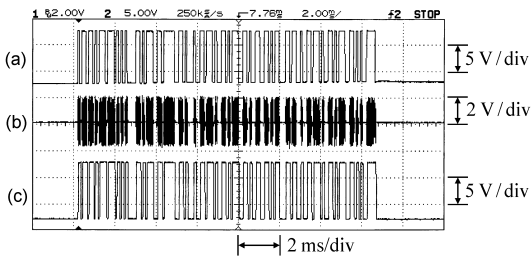


그림 8. 송수신 파형. (a) RFID 송신 파형, (b) 중계기의 ASK 변조 파형, (c) PC 수신 파형

Fig. 8. Transmitted and received waveforms. (a) Transmitted waveform from an RFID, (b) ASK modulated waveform in a repeater, (c) Received waveform to a PC.

파형 (b)는 중계기에서 이 파형을 수신하여 복구한 후 다시 ASK 파형으로 변조한 상태를 나타낸다. 여기에서 반송파 주파수는 앞의 그림 3과 같은 70 kHz이다. 그림 8의 파형(c)는 수신부에서 중계기의 LED 조명광을 검출하여 전송데이터를 복구한 상태이며, 이 데이터는 사용자의 PC로 전달된다. 이와 같은 중계기 구조는 출입자 관리용 RFID 시스템으로부터 관리자 PC까지 전송 케이블을 사용하지 않고 실내에 설치된 LED 조명광을 이용하여 무선 전송하는 네트워크를 구축하는 데에 쉽게 이용될 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 조명용 LED를 광원으로 사용하는 무선광 시스템에서 광전 변환을 이용한 잡음 소거 방식을 새로이 제안하고 실험하였다. LED의 광전 변환을 이용한 발진 회로가 개방된 상태에서 주파수에 따른 전압 이득과 위상의 변화를 측정하고, 발진 회로의 단락 상태에서 약 70 kHz의 발진 주파수를 얻었다. 이 발진 주파수를 ASK 변조에 필요한 반송 주파수로 사용하고 변환 회로 내에 스위칭 소자인 FET의 게이트에 디지털 신호 전압을 가하여 ON/OFF 상태를 반복함으로써 9.6 kbps의 데이터율을 가지는 ASK 광변조 파형을 발생하였으며, 주변의 조명 시설로부터 잡음 광이 존재하는 환경에서 잡음의 소거 능력을 측정된 결과, 약 25 dB 정도 신호대 잡음비의 개선 효과를 얻었다. 또한, 이 구조를 활용하기 위한 하나의 예로서 무선광 중계기를 구성하고, 장애물에 의하여 직접 검출이 차단된 구간에서 중계기를 경유한 데이터 전송 실험을 실시한 결과, 잡음 광의 영향을 거의 받지 않는 상태로 신호의 수신 가능 영역을 확장해 주는 효과가 있음을 확인하였다.

이와 같이 광전 변환을 이용한 ASK 변조 방식을 사용하면, ASK 변조에 필요한 반송파를 얻기 위해서 별도의 신호 발생기를 사용할 필요가 없기 때문에 시스템의 구성이 간단하고, 주변의 다른 조명 시설로부터 발생하는 잡음 광의 간섭을 소거하는 능력이 우수하며, 조명용 LED를 사용하여 조명과 통신을 쉽게 결합할 수 있기 때문에 무선광 시스템 구축에 관련하여 그 활용 범위가 넓다.

참 고 문 헌

[1] Joseph M. Kahn, John R. Barry, "Wireless infrared communications", *Proc. IEEE*, 85(2), pp. 265-298, 1997.

[2] Seong-Ho Lee, "Reducing the effects of ambient noise light in an indoor optical wireless system using polarizers", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 3, pp. 228-231, Feb. 2004.

[3] 이성호, "플라스틱광 섬유 손실 특성을 이용한 무선잡음 광의 영향 감소", 한국전자과학회논문지, 16(7), pp. 746-752, 2005년 7월.

[4] 이성호, "조명용 LED와 솔라셀을 이용한 실내무선 광통신", 한국전자과학회논문지, 21(3), pp. 285-291, 2010년 3월.

[5] Reinhold Ludwig, Gene Bogdanov, *RF Circuit Design*, 2nd Ed., p. 561, 2009.

황 다 현



2004년 2월: 대전대학교 통신공학과 (공학사)
 2008년 3월~현재: 서울산업대학교 산업대학원 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 광통신, RFID, 안테나

이 성 호



1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월~현재: 서울산업대학교 전자정보공학과 교수
 [주 관심분야] 광통신, RFID, 안테나