

# 플렉시블 솔라셀과 Cds셀을 이용한 다중 가시광 수신기

## Multiple Visible Light Receiver Using A Flexible Solar Cell and Cds Cells

이 성 호<sup>★</sup>

Seong-Ho Lee<sup>★</sup>

### Abstract

In this paper, an omnidirectional visible light detector was developed by making the detecting surface of a flexible solar cell in a cylindrical form, which has a uniform receiving pattern in the horizontal plane. This solar cell detector receives simultaneously multiple signal lights incident from different directions and provides electrical power to the ASK demodulator in the receiver. In experiments, time division transmission method was used to receive three signal lights incident from different directions to the solar cell detector. Each signal light was ASK modulated using a carrier of 40 kHz, and the synchronizing pulses required for time division transmission were generated by detecting the 120 Hz AC signal included in the indoor illumination lamp with Cds cells. This receiving structure is useful in constructing an  $N \times 1$  optical link in visible light communication.

### 요 약

본 논문에서는 플렉시블 솔라셀의 수광면을 원통형으로 만들어 수평면상에서 균일한 수광패턴을 가지는 전방향 가시광 검출기를 개발하였다. 이 솔라셀 광검출기는 서로 다른 위치에서 입사하는 여러 개의 신호광을 동시에 검출하며, 수신부의 ASK복조기에 전력을 공급한다. 실험에서는 시분할 전송 방식을 사용하여 서로 다른 방향으로부터 입사하는 3개 신호광을 솔라셀 광검출기로 수신하였다. 각 신호광은 40 kHz의 캐리어를 사용하여 ASK 변조하였으며, 시분할 전송에 필요한 동기펄스는 실내의 조명램프에 포함된 120 Hz의 AC 신호를 Cds셀로 검출하여 같은 주기로 생성하였다. 이러한 수신구조는 가시광통신에서  $N \times 1$  광연결을 구성하는 데에 적합하다.

*Key words* : Flexible solar cell, Cds cell, Visible light communication, LED, Omnidirectional,  $N \times 1$  optical link

---

\* Dept. of Electronics and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology

★ Corresponding author

E-mail: shlee@seoultech.ac.kr, Tel: +82-2-970-6457

※ Acknowledgment :

This study was supported by the Research Program funded by the SeoulTech (Seoul National University of Science and Technology).

Manuscript received Jun. 14, 2018; revised Jun. 25, 2018; Accepted Jun. 27, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

가시광 통신 (visible light communication; VLC)은 동일한 광원을 사용하여 조명과 통신을 동시에 수행하는 신기술로서, 송신부의 신호광을 자유공간을 통하여 수신부에서 직접 수신하는 근거리 무선통신방식의 일종이다[1]-[4]. 가시광통신은 기존의 RF(radio frequency) 무선주파수와 상호 간섭을 일으키지 않으며, 신호광이 도달하는 영역에서만 신호검출이 가능하여 무선구간에서 높은 보안성을 유지하는 특성이 있다. 가시광통신의 광원으로 발광다이오드 (light emitting diode; LED)가 많이 사용되고 있다. LED는 높은 전력 변환 효율을 가지며, 크기가 작고 기계적인 충격에도 강하여 취급하기에 편리한 장점을 가지고 있다. 또한 주입 전류를 조정함으로써 기존의 형광등이나 백열등에 비하여 고속으로 조명제어가 가능하여 조명과 통신을 겸하기 위한 광원으로 많이 이용되고 있다. 가시광통신에서 수신부의 광검출 소자로는 포토다이오드 또는 이미지센서가 주로 사용되고 있다. 최근에는 가시광 수신기로 솔라셀을 활용하는 보고가 있었다[5],[6]. 이러한 구조에서는 솔라셀이 가시광 신호를 검출하는 동시에 수신부 회로에 전력을 공급하는 기능을 가지기 때문에 수신부 구성이 간단해지는 이점이 있다.

근래에 개발된 솔라셀 중에는 사용자가 원하는 형태로 수광면을 곁힐 수 있는 플렉시블 솔라셀이 있다. 본 논문에서는 이러한 플렉시블(flexible) 솔라셀의 수광면을 원통형으로 만들어 수평면상에서 전방향성(omnidirectional) 수광패턴을 가지는 가시광수신기를 새로이 개발하였다. 원통형 솔라셀은 원통축을 기준하여 모든 방향으로 구조가 대칭이므로, 수평면상에서 균일한 수광패턴을 가지게 되어 여러 방향에서 입사하는 다수의 신호광을 동시에 수신할 수 있는 특징이 있다. 따라서 이 구조를 사용하면 위치가 서로 다른 여러 개의 송신부와 무선광연결이 용이하고, 외부 전원이 없이 동작하는 두 가지 큰 이점이 있다.

실험에서는 시분할(time division) 전송방식을 사용하여 3 개의 신호광을 원통형 솔라셀로 검출하였다. 시분할 전송에 필요한 동기 펄스는 실내의 천정에 설치된 조명광에 포함된 120Hz의 AC

신호를 광도전체 Cds 셀로 검출하여 같은 주기의 동기펄스를 생성하였다. 실내에서 사용되는 송신부와 수신부는 동일한 조명상태에 놓이게 되므로 이들은 모두 동기된 120Hz의 쉽게 신호를 얻을 수 있다. 이러한 동기화 방법을 사용하면 시분할 전송과정에서 별도의 동기용 클럭을 전송할 필요가 없어 시스템의 구성이 매우 간편해지는 이점이 있다.

II. 본론

1. 원통형 솔라셀 광검출기 구조

전방향성 수신특성을 가지는 원통형 솔라셀 광검출기의 구조는 그림1과 같다.

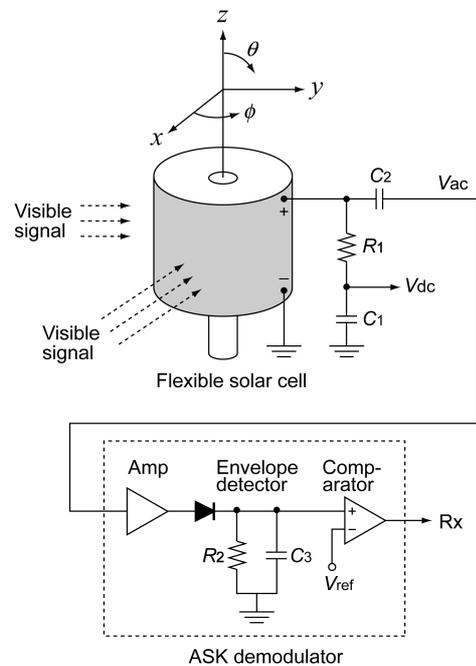


Fig. 1. Cylindrical solar cell photodetector. 그림 1. 원통형 솔라셀 광검출기

원통형의 아크릴 블록의 측면에서 둥근 표면을 따라 플렉시블 솔라셀을 부착하여 원통형 수광표면을 구성하였다. 원통형 표면은 원통축을 기준하여 대칭이므로  $\phi$ -방향으로 수광패턴이 균일하다. 솔라셀이 가시광선에 노출되면 광전류가 발생하여 부하 저항 R1을 통해 흐르고 커패시터 C1 양단에 DC 전압이 나타난다. 이 DC 전압은 ASK 복조기에 포함된 증폭기와 비교기(comparator)에 전력을

공급한다. C2를 통과하는 AC 성분은 ASK (amplitude shift keying)복조기를 통하여 신호광이 검출된다. ASK 복조기는 증폭기, 포락선 검출기 (envelope detector) 및 비교기로 구성되어 있으며, 기저대역(base-band)의 데이터를 출력한다 [7].

실험에 사용한 아크릴블록의 크기는 높이 11cm, 직경 7cm이었으며, 수광면의 넓이가 11cm×22 cm 인 엘레파츠사의 MPT6-150 플렉시블 솔라셀 2장을 병렬로 연결하여 아크릴블록 측면의 둥근 표면에 접착하였다. ASK 복조기에서 1N4001 다이오드 1개를 사용하고 증폭기와 비교기로는 IL358 op-amp를 사용하였다. 수신회로에 사용한 커패시턴스는 C1=10uF, C2=0.1uF, C3=0.1uF 이었으며, 저항은 R1=200Ω, R2=1kΩ을 사용하였다.

**2. 원통형 솔라셀의 수광패턴 측정**

원통형 솔라셀의 수광패턴을 측정하기 위하여 원통의 축을 스텝모터에 부착하고, 약 2m의 거리에서 LED-array를 사용하여 솔라셀에 가시광을 입사하였다. LED-array는 12 개의 1W 백색 LED 로 구성된 3×4 평면배열 형태로 구성하였다. 스텝모터를 360도 회전하면서 솔라셀 전압을 기록하여 ϕ-방향과 θ-방향으로 각각 수광패턴을 측정하였다. 그림2는 최대값 1로 정규화한 ϕ-방향의 수광패턴을 나타낸다.

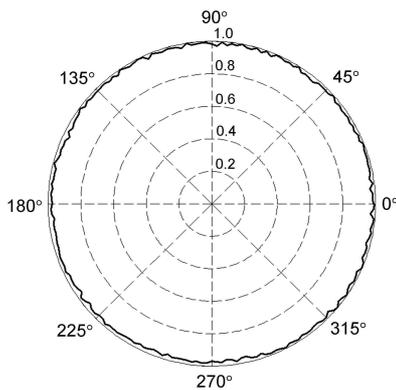


Fig. 2. Receiving pattern in ϕ-direction.  
그림 2. ϕ-방향의 수광패턴

그림2에서 보인 바와 같이 ϕ-방향으로는 거의 균일한 수광패턴을 보였으며, 최대 변화는 약 4% 이내를 유지하였다. 따라서 수평면상 임의의 방향으로부터 입사하는 신호광에 대하여 거의 균일한

응답특성을 가지는 가시광 검출기로 사용할 수 있음을 보였다. 그림 3는 θ-방향으로 측정된 수광패턴을 나타낸다.

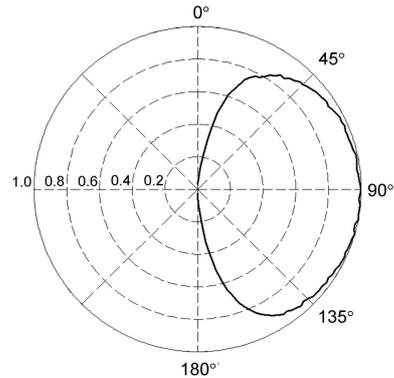


Fig. 3. Receiving pattern in θ-direction.  
그림 3. θ-방향의 수광패턴

θ-방향의 수광패턴은 각도 θ=90° 에서 최대가 되며, θ=0°, 180° 에 가까워짐에 따라 0으로 접근하여, 일반적인 평면 포토다이오드와 유사한 수광패턴을 보였다.

**3. 원통형 솔라셀의 수신대역폭 측정**

솔라셀의 AC 응답을 측정하기 위해 솔라셀의 두 단자 사이에 부하저항을 연결하고 LED에서의 변조주파수를 증가시키면서 검출전압을 측정하여 기록하였다. 그림4는 솔라셀의 AC 응답특성의 측정결과를 나타낸다.

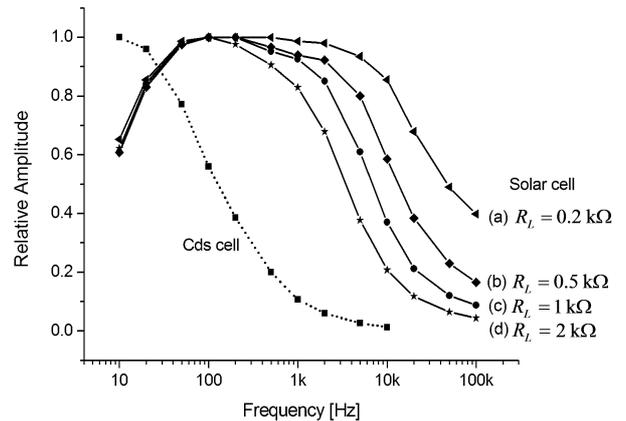


Fig. 4. AC characteristics of the solar cell and the Cds Cell.  
그림 4. 솔라셀과 Cds 셀의 AC특성

그림4에서 실선의 그래프는 광검출기로 사용한 솔라셀의 수신특성을 나타내며, 점선은 동기펄스

발생기에 사용한 Cds 셀의 수신특성을 나타낸다. 솔라셀의 AC 수신 대역폭은 부하 저항 ( $R_L$ )이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 솔라셀의 부하저항이 0.2k $\Omega$ 일 때, 3dB 대역폭의 상한주파수가 약 20kHz, 6dB 대역폭은 약 40kHz로 측정되었다.

4. VLC 송신부 구조

VLC 송신부의 구조는 그림5와 같다.

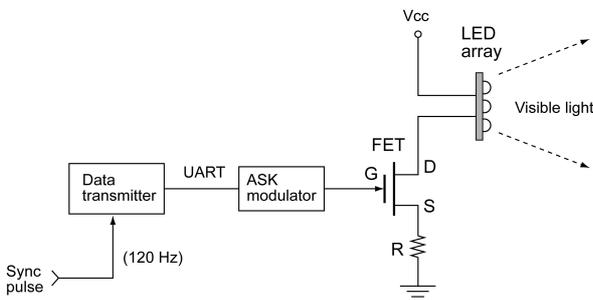


Fig. 5. Configuration of the VLC transmitter.  
그림 5. 가시광 송신부 구조

그림5에 도시된 바와 같이 송신부는 데이터 송신기, ASK 변조기 및 LED array 로 구성된다. 데이터 송신기는 기저대역의 ASCII 코드를 보내는 마이크로프로세서이며, ASK 변조기를 통하여 FET의 게이트에 인가된다. LED 조명의 플리커를 방지하고 가시광 수신부에서 주변의 잡음광의 영향을 차단하기 위하여 ASK 변조기를 사용하였다. FET의 게이트 전압에 비례한 드레인 전류는 LED array로 흐르게 되며, ASK 변조된 가시광 신호가 자유공간을 통하여 수신부 쪽으로 방사된다. 데이터 송신기로는 ATmega8 마이크로프로세서를 사용하였으며, ASK 변조기는 XR2206 칩을 사용하여 제작하였다. LED array의 전류 원으로 IRF540 FET를 사용하였으며, LED array는 12 개의 1W 백색광 LED를 사용하여 3×4 배열 구조로 제작하였다.

5. 동기펄스 발생기

여러 개의 가시광신호를 1개의 수신부로 검출하기 위하여 시분할 전송방식을 사용하였으며, 각 송신부별로 전송시간을 할당하기 위하여 동기펄스를 사용하였다. 동기펄스는 실내에서 60Hz의

전력선으로 구동되는 조명용 LED 램프의 빛에 포함된 120Hz의 신호를 추출하여 생성하였다. 60Hz 전력선에 연결되는 백열등, 형광등, 또는 LED조명등에는 대부분 120Hz의 AC 신호가 포함되어 있으며, 광도전체인 Cds셀로 이 신호를 추출하여 동기펄스를 생성하였다. 동기펄스 발생기의 구성은 그림6과 같다.

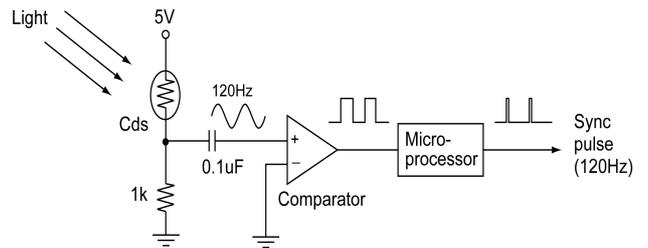


Fig. 6. Sync pulse generator.  
그림 6. 동기펄스 발생기

동기펄스 발생기 제작에 사용한 Cds셀은 GL5537로서 직경이 5mm이고, 암저항(dark resistance)이 2M $\Omega$ 이며, 가시광의 세기가 증가함에 따라 저항이 감소한다. Cds셀의 AC수신특성은 앞의 그림4에서 보인 점선과 같다. 조명램프에 포함된 120Hz의 신호를 추출하기 위하여 저항 1k $\Omega$ 과 직렬로 연결하여 전압분배기를 만들고, 커패시터 0.1 $\mu$ F을 통한 AC전압을 비교기에 인가하였다. 비교기에서는 Cds 셀 전압이 입력단의 기준전압인 0V 보다 높으면 +5V, 0V 보다 낮으면 0V의 구형파를 출력한다. 이 구형파의 하강에지에서 마이크로프로세서는 1ms의 동기펄스를 생성하였다. 그림7은 오실로스코프를 사용하여 관측한 동기펄스 발생기의 전압파형을 나타낸다.

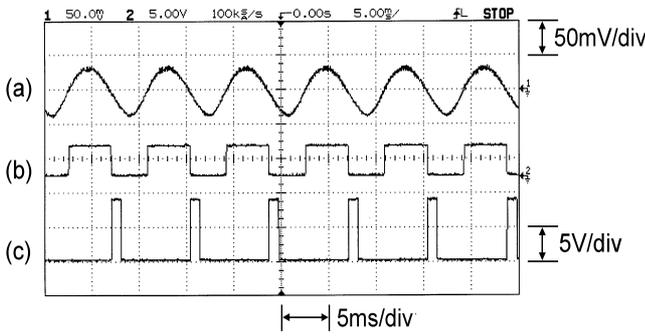


Fig. 7. Observed waveforms in the sync pulse generator. (a) Cds cell voltage, (b) Comparator output, and (c) Sync pulse output.

그림 7. 동기펄스 발생기의 관측파형 (a) Cds셀 전압, (b) 비교기 출력, (c) 동기펄스 출력

그림 7 (a)는 Cds 셀의 AC전압으로서 120Hz의 주파성분을 가진 사인파에 근접한 모양을 보이고 있다. 그림 7 (b)는 비교기 출력 전압으로서, Cds 전압이 (+) 이면 +5V의 high 상태, Cds 전압이 (-)이면 0V의 low상태를 보였다. 그림7(c)는 동기펄스 발생기의 출력전압으로서 펄스폭은 1ms, 반복주기는 120Hz이었다. LED램프로부터의 거리가 변하면 Cds 셀의 AC 진폭이 변화하지만, Cds 전압이 0V와 교차하는 지점은 항상 동일하여 비교기의 출력이 일정하고 그 결과 동기펄스는 일정한 상태를 이룬다.

동기펄스는 데이터 전송과는 별도로 제공되어야 하므로 수신부에서 40 kHz의 ASK 신호광은 차단하고 120Hz의 잠음광을 동기신호의 원천으로 활용할 수 있도록 솔라셀보다 수신대역폭이 현저히 낮은 Cds셀을 이용한 것이다. Cds셀의 수신대역폭은 앞의 그림5에서 측정한 바와 같이 6dB수신대역폭이 약 100Hz가 되어, 40kHz ASK 신호광은 차단된다. 신호광 전송실험에서 이 동기펄스 발생기를 각 송신부와 수신부에 1개씩 부착하여 시분할 전송을 실시하였다. 이러한 동기구조를 사용하면 별도의 클럭전송 또는 클럭복구 과정이 필요하지 않아 시스템이 구성이 매우 간단해지는 이점이 있다.

### 6. 다중 신호광 전송실험

여러 개의 가시광 신호전송을 위하여 그림8과 같이 실험장치를 구성하였다.

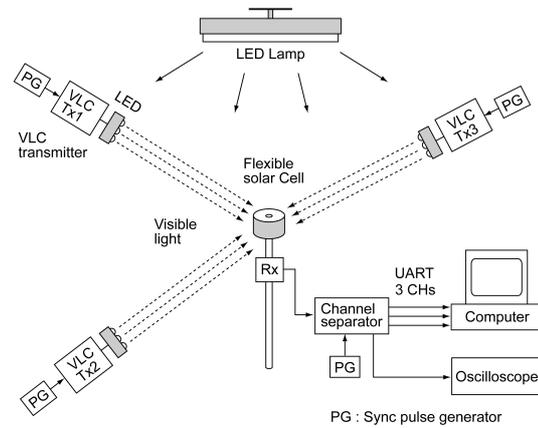


Fig. 8. Experimental setup. 그림 8. 실험장치 구성도

3개의 가시광 송신부의 신호광이 서로 약 120도 각도 차이를 가지고 솔라셀 검출기로 입사하도록 배치하였다. 실내의 천정에는 60Hz의 전력선으로 구동되는 LED 램프가 설치되어 있다. 모든 송신부에는 Cds 셀을 이용한 동기펄스발생기가 1개씩 연결되었으며, 솔라셀 검출기의 출력전압은 동기펄스 발생기가 연결된 채널분리기에 전달되었다. 채널 분리기는 하나의 마이크로프로세서이며 각 채널에 할당된 시간동안 데이터를 읽어 세 개의 포트에 분리하여 출력한다.

솔라셀 검출기는 약 1미터 높이의 지지대 꼭대기에 설치하였다. 각 송신기로부터 솔라셀 검출기 사이의 거리는 약 2미터를 유지하였다. 각 송신부에서는 LED의 출력광에 플리커가 발생하지 않도록 ASK 변조방식을 사용하였다. ASK 변조기에서는 솔라셀의 6dB 주파수에 해당하는 40kHz의 캐리어를 사용하여 4.8kbps의 전송률로 데이터를 변조하였다. 3 개의 신호광이 솔라셀 검출기에 입사할 때 솔라셀의 양단전압은 약 6V, DC 전류는 약 12mA이었다. 이 전류는 수신부에서 증폭기와 비교기로 사용된 2 개의 IL358 연산 증폭기에 전력을 공급하였다. 각 펄스발생기에서 펄스주기는 8.3ms로서 이 값은 120Hz의 역수에 해당한다. 3 개의 가시광 신호를 시분할 전송하기 위해 펄스의 한 주기를 2.5ms, 2.5ms, 3.3ms의 3개의 구간으로 나누어 송신부1 (Tx1), 송신부2 (Tx2), 송신부3 (Tx3)에 각각 할당하였다.

Tx1, Tx2, Tx3에서 각각 "A:VLC-test\r\n", "B:12345678\r\n", "C: ASK-TxRx\r\n" 의 문자열을

전송하면서 오실로스코프를 사용하여 각 송신부와  
솔라셀 검출기에서의 전압파형을 관측하였다.  
그림9는 송신부에서의 관측파형을 나타낸다.

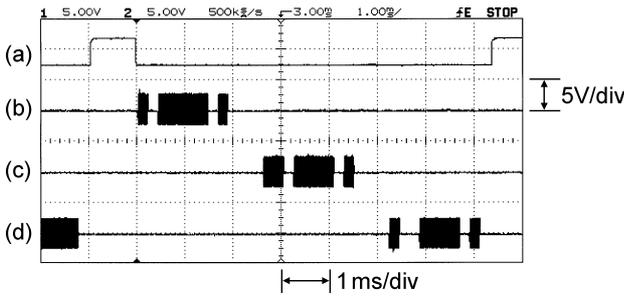


Fig. 9. Waveforms in the VLC transmitters. (a) 120Hz sync pulse, (b) ASK waveform of Tx1, (c) ASK waveform of Tx2, and (d) ASK waveform of Tx3.

그림 9. 가시광 송신부의 파형 (a) 120Hz 동기펄스, (b) Tx1의 ASK파형, (c) Tx2의 ASK파형, (d) Tx3의 ASK파형

그림 9 (a)는 펄스발생기로의 출력인 동기 펄스이며, 펄스폭은 1ms, 펄스주기는 8.3ms이었다. 그림 9의 (b), (c) 및 (d)는 각각 Tx1, Tx2 및 Tx3에서 보낸 문자열 중에서 첫 번째 문자에 대한 ASK 변조파형을 나타낸다. Tx1의 첫 번째 문자는 "A"이며 ASCII 코드는 "01000001"이다. UART 전송에서 최하위 비트(LSB)가 우선 전송되므로 문자 "A"의 비트 스트림은 앞뒤 순서가 바뀌어 "10000010"가 된다. 비트열의 앞에 start bit "0"와 stop bit "1"가 추가되어 문자 "A"의 비트열은 "0100000101"이 된다.

UART 전송방식에서는 비트 "0"에 high (H) 전압이 사용되며, 비트 "1"에 low (L) 전압을 사용한다. 따라서 문자 "A"에 대한 디지털 전압 파형은 "HLHHHHHLHL"이 된다. 송신부의 ASK 변조기에서 "H" 비트에는 40kHz의 주파수를 사용하고 "L" 비트에 DC를 사용하였다. 그 결과 문자 "A"에 대한 ASK 변조파형은 그림10(b)와 같이 나타난다. 같은 방식으로 그림10(c)와 (d)는 각각 Tx2와 Tx3에서 문자 "B"와 "C"에 대한 ASK 파형이다. Tx1, Tx2 및 Tx3으로부터의 전송된 신호광은 솔라셀 검출기에서 수신되고, ASK 복조기에 의해 복구되었다. 그림10은 오실로스코프를 사용하여 관측한 수신파형을 나타낸다.

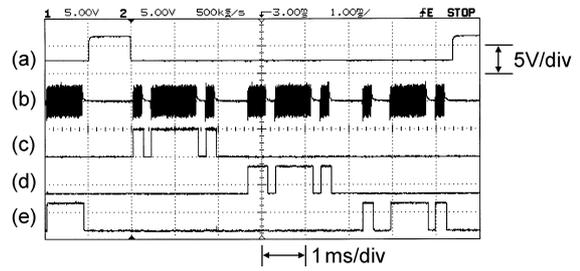


Fig. 10. Waveforms in the VLC receiver. (a) 120Hz sync pulse, (b) AC voltage waveforms in the solar cell, (c) Recovered data of Tx1, (d) Recovered data of Tx2, and (e) Recovered data of Tx3.

그림 10. 가시광 수신부의 파형 (a) 120Hz 동기펄스, (b) 솔라셀의 AC전압파형, (c) Tx1의 복구데이터, (d) Tx2의 복구데이터, (e) Tx3의 복구데이터

그림10 (a)는 동기 펄스로서 이것은 각 송신부에서 사용한 동기펄스와 동일한 파형이다. 그림 10(b)는 Tx1, Tx2, Tx3의 ASK 파형이 합쳐져 솔라셀에서 한꺼번에 검출된 AC 전압이다. 그림 10(c), (d), (e)는 각각 ASK 복조기에서 기저대역 신호로 변경된 후 수신부의 채널 분리의 출력단에 나타난 Tx1, Tx2 및 Tx3의 첫 문자이다. 채널 분리기로는 ATtiny24 마이크로프로세서를 사용하였다. 마이크로프로세서는 Tx1, Tx2 및 Tx3에 해당하는 구간에서 데이터를 읽어 분리된 포트에 출력하였다. 그림 11은 그림10의 수신파형을 5ms/div의 스케일로 확대하여 관측한 것이다.

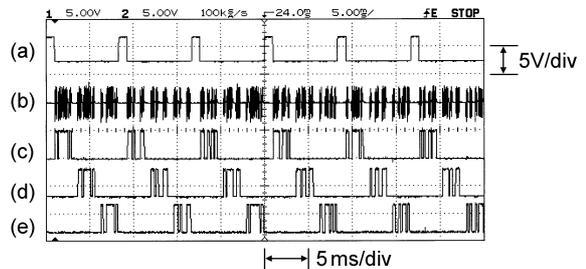


Fig. 11. Waveforms in the VLC receiver. (a) 120Hz power line pulse, (b) AC voltage waveforms in the solar cell, (c) Recovered data of Tx1, (d) Recovered data of Tx2, and (e) Recovered data of Tx3.

그림 11. 가시광 수신부의 파형 (a) 120Hz 동기펄스, (b) 솔라셀의 AC전압파형, (c) Tx1의 복구데이터, (d) Tx2의 복구데이터, (e) Tx3의 복구데이터

그림11(a)는 동기펄스로서, 앞의 그림9(a) 및 10(a)와 동일한 파형이다. 그림11(b)는 솔라셀의 AC 전압으로서 3 개의 각 송신부에서 보낸 6개 문자에 대한 ASK변조파형이 순서대로 보이는 상태이다. 한 펄스주기에서 각 송신부는 한 문자씩 전송하였으며, 각 펄스주기 내에서 첫 번째, 두 번째, 세 번째 문자는 각각 Tx1, Tx2, Tx3의 데이터에 해당한다. 그림11(c), (d), (e)는 각각 채널 분리기의 출력단에 나타난 기저대역의 신호를 나타낸다.

채널분리기에서 출력된 3 개의 신호를 컴퓨터의 UART 포트에 연결하여 전송된 문자를 확인하였다. 컴퓨터에 3개의 serial-to-USB 변환 케이블을 사용하여 3개의 신호를 한 개의 모니터에 표시하였다. 그림12는 3개의 송신기가 보낸 문자열을 나타낸다.

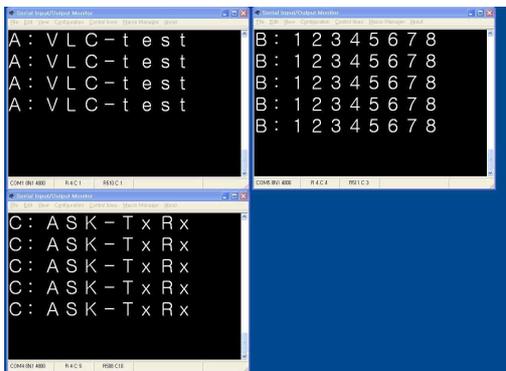


Fig. 12. Characters displayed on a monitor.  
그림 12. 모니터에 표시된 문자

그림12에서는 3개의 윈도우에 Tx1, Tx2 및 Tx3의 전송데이터를 보여준다. 각 송신부에서 사용한 "\r"(carriage return), "\n"(line feed)은 위치제어를 위한 특수문자이므로 모니터 상에는 나타나지 않는다. 이와 같이 3개의 송신부에서 보낸 문자열이 정상적으로 잘 수신됨을 확인하였다. 그림13은 실험에 사용된 회로의 외관을 나타낸다.

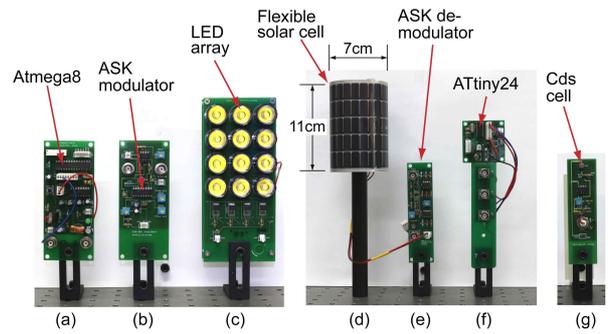


Fig. 13. Circuits used in experiments  
그림 13. 실험에 사용한 회로

그림13(a)는 송신부에서 사용된 Atmega8 마이크로프로세서 회로이며, 3개의 송신부 Tx1, Tx2, Tx3 에서 모두 동일한 구조를 사용하였다. 그림 13(b)는 XR2206 칩이 사용된 ASK 변조기이며, 그림13(c)는 송신부의 광원으로 사용된 3×4 LED array를 나타낸다. 그림13(d)는 전방향성 광검출기로 사용한 원통형의 플렉시블 솔라셀 MPT6-150이다. 그림13(e)는 수신부에서 사용한 ASK 복조기이며, 그림13(f)는 수신부에서 채널분리기로 사용된 ATtiny24 마이크로프로세서 회로를 나타낸다. 그림13(g)는 동기펄스 발생기에 사용한 Cds셀 회로이다.

### III. 결론

본 논문에서는 플렉시블 솔라셀을 이용하여 다중신호광의 수신에 적합한 전방향성 광검출기를 새로이 개발하였다. 기존의 포토다이오드를 수광소자로 사용하는 경우에 여러 방향으로 입사하는 신호광을 동일하게 수신하기 위해서는 여러 개의 포토다이오드를 사용한 배열구조가 필요하다. 이러한 점을 쉽게 해결하기 위하여 플렉시블 솔라셀을 사용하여 수광표면을 원통형으로 구성하였다. 원통형의 솔라셀은  $\phi$ -방향으로 균일한 수광특성을 보여 수평면상에서 여러 방향으로 입사하는 다중의 신호광을 수신하는 데에 적합함을 실험적으로 확인하였다. 3차원 공간 모든 방향으로부터 균일한 수광특성을 갖는 수신부를 구성하는 경우에는 구형의 수광표면이 적합하나, 이를 구현하기 위해서는 솔라셀 또는 포토다이오드의 생산과정에서 별도로 설계 및 제작되어야 한다.

데이터 전송실험에서는 3×4 LED-array를 광원으로 사용하고, 솔라셀의 수신대역폭에 해당하는 40kHz를 캐리어로 사용하여 ASK 변조하였다. 솔라셀 검출기에 3개의 신호광을 시분할전송하기 위하여 Cds셀을 이용한 120Hz의 동기펄스발생기를 제작하여 사용하였다. 송신부와 수신부에 부착된 모든 펄스발생기는 동일한 조명을 받아 펄스를 생성하므로 모두 동기상태를 이루었다. 이러한 구조에서는 별도의 클럭전송을 위한 추가적인 채널이 필요하지 않아 시스템 구성이 매우 간단해지는 이점이 있다. 실내의 조명용 램프에서 방사되는 120Hz신호가 수신부에서는 잡음으로 작용하기 때문에 ASK 복조기에서 차단하는 반면, 동기펄스 발생기에서는 이를 동기펄스의 원천으로 활용한 것이다.

이와 같이 플렉시블 솔라셀을 이용한 전방향성 검출기와 Cds셀을 이용한 동기펄스발생기를 함께 사용하면, 가시광 네트워크에서 N×1 무선광연결을 구성하는 데 넓게 활용할 수 있다. 예를 들어 실내에서 온도센서, 가스센서, 먼지센서 등 설치위치가 서로 다른 여러 개의 센서 데이터를 한 개의 광검출기로 동시에 수신하여 실내의 환경을 장시간 지속적으로 관측·제어하기 위한 홈네트워크를 구축하는 데에 많이 활용할 수 있다.

## References

- [1] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100 - 107, 2004. DOI: 10.1109/TCE.2004.1277847
- [2] S. Rajagopal, R. D. Roberts, S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp.72-82, 2012. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6163585
- [3] Y. K. Cheong, X. W. Ng, and W. Y. Chung, "Hazardless biomedical sensing data transmission using VLC," *IEEE Sens. J.*, vol. 13, no. 9, pp. 3347 - 3348, 2013. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2274329
- [4] Z. Ong, W. Y. Chung, "Long Range VLC Temperature monitoring system using CMOS of mobile device camera," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, pp. 1508-1509, 2016. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2506907
- [5] Y. Liu, H. Y. Chen, K. Liang, C. W. Hsu, C. W. Chow, and C. H. Yeh, "Visible light communication using receivers of camera image sensor and solar cell," *IEEE Photon. J.*, vol. 8, no. 1, 2016, Art. no. 7800107. DOI: 10.1109/JPHOT.2015.2507364
- [6] S. H. Lee, "A passive transponder for visible light identification using a solar cell," *IEEE Sens. J.*, vol.15, no.10, pp.5398-5403, 2015. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2440754
- [7] F. Yuan, "Design techniques for ASK demodulators of passive wireless microsystems: a state-of-the-art review," *Analog Integr. Circ. Sig. Process.*, vol. 63, no.1, pp. 33 - 45, Apr. 2010. DOI:10.1007/s10470-009-9379-6

## BIOGRAPHY

### Seong-Ho Lee (Member)

1980 : BS degree in Electronic Engineering, Korea Aerospace University.

1989 : MS degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

1993 : PhD degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

1995~2018 : Professor, Seoul National University of Science and Technology

