

솔라셀을 이용한 가시광 인식용 수동형 트랜스폰더

이성호⁺

A Passive Transponder for Visible Light Identification Using a Solar Cell

Seong-Ho Lee⁺

Abstract

In this paper, we introduce a new passive transponder that operates without external power in a visible light identification system. The transponder consists of a solar cell, a photodiode, a microprocessor, and a visible LED. When a reader sends light to the transponder, the solar cell generates current from the reader light and supplies power to the other elements in the transponder. At the same time, the photodiode detects the pulse in the reader light and initiates a microprocessor to generate and send a responding light to the reader. In experiments, we realized a passive transponder using a solar cell that operated at a distance of 1m without external power.

Keywords: Solar cell, Passive transponder, Visible light identification, LED, Visible light communication

1. 서 론

최근에 들어 가시광 LED (Light Emitting Diode)의 개발과 이에 대한 활용분야가 증가하면서 가시광을 이용한 통신방식이 발전하고 있다. 가시광통신(VLC: Visible Light Communication)은 자유공간으로 가시광을 발생하여 전송함으로써 무선으로 정보를 주고받는 근거리 무선광통신 방식의 일종이다[1-7]. 이러한 가시광통신 기술의 새로운 활용분야의 하나로서 가시광인식장치(visible light identification system)가 있다. 가시광 인식장치는 리더로부터 발생한 신호광에 반응하여 관리대상 물체에 부착된 트랜스폰더에서 응답신호광을 발생하여 물체에 관련된 정보를 무선으로 인식하는 센서기술이다. 가시광인식장치는 관리자가 사용하는 리더와 관리대상 물체에 부착하는 트랜스폰더로 구성되며, 이 둘 사이에 신호교환 과정은 기존의 RFID (Radio Frequency Identification)과 유사하지만 정보교환을 위한 전송매체로서 RF주파수 대신에 가시광을 사용한다.

리더에서 트랜스폰더 쪽으로 문의 신호에 해당하는 빛을 보

내면, 트랜스폰더는 자신이 보유한 데이터에 해당하는 변조된 신호광을 리더 쪽으로 응답하고, 리더는 트랜스폰더의 응답 신호광에 포함된 정보를 추출하여 트랜스폰더의 정보를 무선으로 인식하게 된다. 가시광 무선인식장치의 리더와 트랜스폰더에 모두 외부 전원을 사용하면 가시광 송수신 장치가 서로 마주 바라보고 있는 상태라고 간주할 수 있다.

그러나 트랜스폰더가 외부전원을 사용하지 않고 수동적으로 자체 동작하는 경우에는 트랜스폰더를 관리대상 물체에 영구적으로 부착한 상태에서 리더의 신호광을 사용하여 언제든지 그 물체의 정보인식이 가능하여 물품관리를 위한 센서 네트워크의 구축이 매우 간편해진다.

본 논문에서는 가시광 인식장치의 트랜스폰더에 외부의 전원을 전혀 사용하지 않고 리더의 신호광을 수신하여 자체적으로 동작할 수 있는 수동형 트랜스폰더의 구조를 새로이 개발하여 실험하였다. 이 구조에서는 솔라셀을 사용하여 리더의 신호광을 받아 전류로 변환하며, 이 전류는 트랜스폰더 내부의 다른 모든 소자를 구동하기 위한 전원으로 동작한다. 따라서 트랜스폰더를 구성하고 있는 마이크로프로세서, 포토다이오드 및 LED는 외부의 전원을 전혀 사용하지 않고 솔라셀의 전류만으로 동작하는 구조이다.

이와 같은 수동형 트랜스폰더의 활용분야로는 고가의 계측기 관리, 화물운송용 컨테이너 관리, 자동차의 통행관리 시스템 등 자동 무선인식 센서 네트워크를 구축하는 데에 많이 활용할 수 있다.

수동형 트랜스폰더의 실험을 위하여 먼저 수동형 트랜스폰더의 구조와 동작과정에 대하여 소개하고, 리더 LED의 신호광 분

서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과(Department of Electronics and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology) 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea
⁺Corresponding author: shlee@seoultech.ac.kr
(Received: Jun. 2, 2014, Accepted: Jul. 24, 2014)

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.

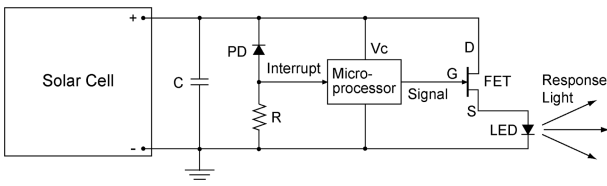


Fig. 1. A passive transponder circuit using a solar cell.

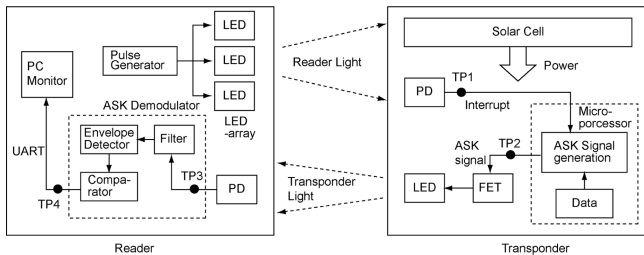


Fig. 2. The interaction between a reader and a transponder.

포에 따른 솔라셀의 전류를 분석한 후, 이 트랜스폰더를 리더와 연동하여 동작을 확인하는 순서로 진행하였다.

2. 수동형 트랜스폰더의 구조 및 동작원리

솔라셀을 이용한 수동형 트랜스폰더의 구조는 Fig. 1과 같다. 트랜스폰더는 솔라셀과, 마이크로프로세서, 포토다이오드, 저항, FET, 그리고 LED 각각 1개씩으로 구성되어 있다. 이 트랜스폰더의 동작과정을 리더와 연계하여 도식적으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 왼쪽 블록은 리더를 나타내고, 오른쪽 블록은 트랜스폰더를 나타낸다. 리더가 신호광을 방사하면 트랜스폰더의 솔라셀은 이 빛을 받아 전류를 생성하며, 이 전류를 트랜스폰더에 속한 다른 모든 소자에 전원을 공급한다. 이와 동시에 포토다이오드(PD)는 리더의 신호광에 실린 펄스를 검출하여 마이크로프로세서의 인터럽트 단자에 전달한다. 마이크로프로세서의 인터럽트 루틴에서는 내부메모리에 저장되어 있는 문자 정보에 해당하는 ASK 신호를 발생시키고, 이 전압을 FET의 게이트에 전달한다. FET는 게이트 신호에 따라 LED에 공급하는 전류를 스위칭하여 LED전류를 변조한다. LED는 ASK변조된 신호광을 발생하여 리더 쪽으로 응답한다

리더에서는 트랜스폰더로부터 방사된 응답 신호광을 포토다이오드에서 수신하여 ASK과형을 생성하고, 필터와 envelope detector, 그리고 comparator로 구성된 ASK 복조회로를 통과하면서 트랜스폰더의 응답 문자를 ASCII코드형태로 복조한다. 복조된 문자는 PC의 UART단자에 전달되어 모니터에 디스플레이 한다. 사용자는 이 문자를 읽어서 트랜스폰더의 정보를 확인한다.

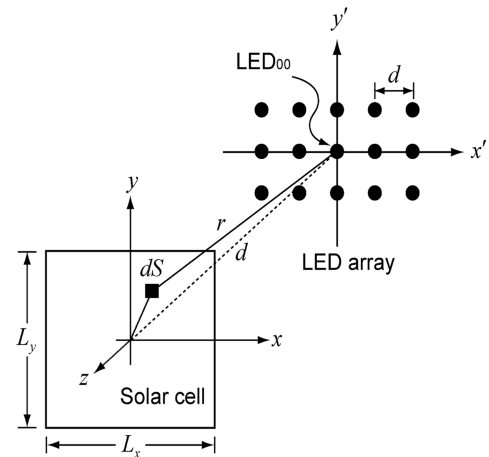


Fig. 3. An LED-array and a solar cell.

3. LED 출력광의 분포와 솔라셀의 전류

3.1 LED-array에 의한 솔라셀의 전류

Fig. 3와 같이 (x', y') 평면상에 $M \times N$ 개의 LED로 구성된 LED-array가 설치되어 있고, 이와 수직 방향으로 거리 $z=d$ 인 위치에 z' 축과 수직하게 놓여 있는 사각형의 솔라셀에서 생성되는 전류를 구한다.

먼저 LED-array의 중심에 위치한 LED 1개 만에 의한 전류를 구한 후, 이를 $M \times N$ 개의 LED-array전체에 적용하여 솔라셀의 총 전류를 구한다.

Fig. 3에서 LED-array에서의 좌표를 (x', y') 로 표기하고, 솔라셀 표면에서의 좌표를 (x, y) 로 표기하였다. LED-array의 중심 $(x'=0, y'=0)$ 에 위치한 LED를 LED_{00} 라고 표기한다. LED_{00} 로부터 $z'=d$ 인 위치에 z' 축과 수직 방향으로 놓여 있는 솔라셀 표면상의 미소면적 dS 에 입사하는 광전력 dP 는

$$dP = U(\theta)d\Omega = U(\theta) \frac{d\vec{S} \cdot \hat{r}}{r^2} = \frac{U(\theta)}{r^2} d\vec{S} \cdot \hat{r}$$

$$= \frac{U(\theta)}{r^2} dS(\hat{z} \cdot \hat{r}) = \frac{U(\theta)}{r^2} \cos \theta dS \tag{1}$$

여기에서 $U(\theta)$ 는 LED_{00} 의 전면 방향인 z 축으로부터 각도 θ 방향으로의 방사강도(radiation intensity)를 나타내며, $d\Omega$ 는 미소면적 dS 가 LED_{00} 위치를 기준하여 차지하는 입체각을 나타낸다. $d\vec{S} = dS \hat{z}$ 는 솔라셀 표면상의 미소 면벡터이고, \hat{z} 와 \hat{r} 은 각각 z 와 r 방향으로의 단위벡터이다. LED 1개의 방사패턴은 일반적으로

$$U(\theta) = U_0 \cos^n \theta \tag{2}$$

로 근사화 할 수 있다[8]. 여기에서 U_0 는 $\theta=0$ 방향으로의 방사강도를 나타내며, 지수 n 값이 증가할수록 빔이 예리하

여 지향성이 높아짐을 나타낸다. 식(1)과 (2)를 사용하여 솔라셀의 미소면적 dS 에서 발생하는 전류 dI 를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 dI &= \rho \times dP = \rho \frac{U(\theta)}{r^2} \cos \theta dS \\
 &= \frac{\rho U_0}{r^2} \cos^n \theta \times \cos \theta dS = \frac{J_0}{r^2} (\cos \theta)^{n+1} dS \\
 &= \frac{J_0}{r^2} \left(\frac{d}{r}\right)^{n+1} dS = J_0 \frac{d^{n+1}}{r^{n+3}} dS \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기에서 ρ 는 솔라셀의 전류응답도이며, $J_0 = \rho U_0$ 는 LED₀₀로부터 $\theta=0$ 인 방향에 위치한 솔라셀 표면에서의 단위입체각당 전류이며, $J_0/r^2 = \rho U_0/r^2$ 은 LED₀₀로부터 수직거리 r 떨어진 지점에서 솔라셀의 단위면적당 전류를 나타낸다. LED₀₀에 의하여 솔라셀에서 발생하는 총 전류는 위의 식(3)을 솔라셀 표면에 대하여 적분하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I &= \int_{x=-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{y=-L_y/2}^{+L_y/2} J_0 \frac{d^{n+1}}{r^{n+3}} dx dy \\
 &= \int_{x=-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{y=-L_y/2}^{+L_y/2} J_0 \frac{d^{n+1}}{(x^2+y^2+d^2)^{(n+3)/2}} dx dy \\
 &= \int_{x=-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{y=-L_y/2}^{+L_y/2} J(x,y) dx dy \quad (4)
 \end{aligned}$$

여기에서,

$$J(x,y) = J_0 \frac{d^{n+1}}{(x^2+y^2+d^2)^{(n+3)/2}} \quad (4a)$$

은 솔라셀 표면 (x, y) 지점에서 발생하는 단위면적당 전류이다.

위와 같은 방법으로 LED-array의 m 번째 행, n 번째 열에 위치한 LED_{mn}으로 인하여 솔라셀 (x, y) 위치에서 발생하는 단위면적당 전류를 $J_{mn}(x, y)$ 로 나타내면,

$$J_{mn}(x,y) = J_0 \frac{d^{n+1}}{[(x-ma)^2 + (y-na)^2 + d^2]^{(n+3)/2}} \quad (5)$$

이다. 여기에서 a 는 LED-array에서 LED 사이의 간격으로서 행과 열의 간격을 동일하게 a 로 표기하였다.

LED_{mn}에 의하여 솔라셀 면적 전체에서 발생하는 전류는

$$I_{mn} = \int_{x=-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{y=-L_y/2}^{+L_y/2} J_{mn}(x,y) dx dy \quad (6)$$

이다. $M \times N$ 개의 LED로 구성된 LED-array와 같이 여러 개의 LED를 사용하여 조명하는 경우에는 솔라셀이 근접함에 따라 광전력이 높아지고 솔라셀의 전류에 포화현상이 발생할 수 있다. 이와 같이 전류포화현상이 발생하는 경우에는 식(5)의 전류밀도 $J_{mn}(x,y)$ 에 따른 비선형특성을 가지는 Sigmoid 함수를 사용하여 솔라셀의 전류를 나타낼 수 있다.

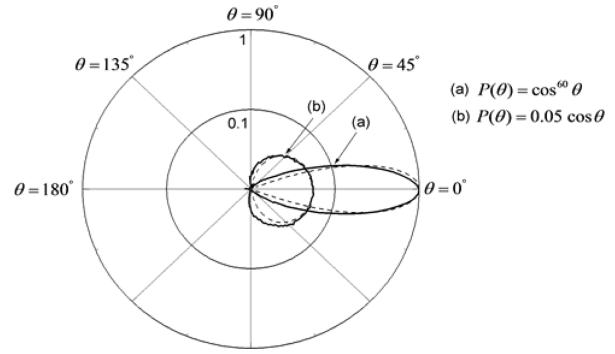


Fig. 4. The radiation pattern of a LED.

$$I_{mn} = \int_{x=-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{y=-L_y/2}^{+L_y/2} 2J_s \left\{ \frac{1}{1 + \exp[-J_{mn}(x,y)/q]} - 0.5 \right\} dx dy \quad (7)$$

여기에서 J_s 는 포화전류밀도이며, q 는 포화특성을 나타내는 상수이다. 이 식을 사용하여 $M \times N$ 개의 LED로 구성된 LED-array 전체에 의하여 발생하는 솔라셀의 총 전류를 나타내면

$$I_{total} = \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} I_{mn} \quad (8)$$

이다. 여기에서 I_{mn} 은 식(7)의 전류로서 m 행, n 열에 위치한 LED_{mn}에 의하여 발생하는 솔라셀 전류를 나타내며, LED-array의 행 방향과 열방향의 LED갯수 M 과 N 이 모두 홀수인 경우를 가정하였다.

3.2 가시광 LED의 방사패턴 측정

LED방사패턴과 솔라셀 전류와의 관계를 실험적으로 확인하기 위하여, 실험에서 사용한 가시광 LED 한 개의 방사패턴과 LED-array에 의한 솔라셀의 전류를 차례로 측정하였다. 먼저 LED한 개의 방사패턴을 측정하기 위하여 스태모터 축 상에 LED를 고정하고 360도 회전하면서 빛의 강도변화를 측정하였다. 측정된 방사패턴은 Fig. 4와 같다.

Fig. 4는 LED에 광집속용 렌즈를 사용한 경우(a)와 렌즈를 사용하지 않은 경우(b)에 각각 측정된 방사패턴을 나타낸다. 방사강도의 크기는 렌즈를 부착한 경우의 최대 값을 1로 정규화하여 Log-scale로 도시하였다. 실선(a)와 (b)는 각각 LED에 렌즈를 사용한 경우와 렌즈를 사용하지 않은 경우에 대한 측정치이며, 점선은 이들 곡선에 근접하는 cos함수를 나타낸다. 렌즈를 사용한 측정 곡선(a)는 방사패턴이 $\cos^{60}\theta$ 에 근접하여 지수 $n=60$ 에 근접하였으며, 렌즈를 사용하지 않은 측정 곡선(b)는 $\cos\theta$ 에 비례하여 지수 $n=1$ 에 근접하였다.

$\theta=0$ 방향의 최대강도는 렌즈를 사용한 경우(a)에는 렌즈를 사용하지 않은 경우(b)에 비하여 약 20 배 높았다. 반전력빔폭(HP: half power beam width)은 렌즈를 사용한 경우(a) 약 15도이었

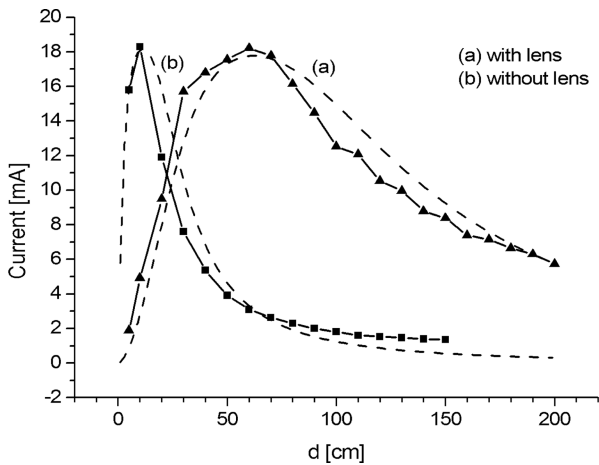


Fig. 5. The relation between the solar cell current and the distance.

으며, 렌즈를 사용하지 않은 경우(b) 약 120도로 측정되었다. 실험에 사용한 LED는 1 W의 백색광(400~800 nm)을 출력하는 HELIO Opto-electronics사의 HMHP-E1LW이였으며, 렌즈는 Photron 사의 15D PLED LENS 를 사용하였다.

3.3 LED-array에 의한 솔라셀의 전류 측정

실험에서 사용한 LED-array는 동일한 종류의 LED 9개를 사용하여 3×3 배열로 제작하였으며, LED간의 간격은 가로와 세로 동일하게 $a=2.5$ cm이었다. 솔라셀은 크기가 12×18 cm 인 엘레파츠사의 MSCA120180 2개를 병렬로 연결하여 총면적이 가로 세로 24×18 cm 크기인 직사각형 구조로 제작하였다. LED-array로부터 수직거리 d 에 따른 솔라셀의 전류를 측정된 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 (a)곡선의 기호(▲)는 LED-array의 각 LED에 렌즈를 부착하고, (b)곡선의 기호(■)는 렌즈를 사용하지 않은 경우에 거리에 따른 솔라셀 전류의 측정값을 나타낸다. Fig. 5에서 점선으로 표시된 2개의 곡선은 앞의 식 (3)-(8)을 사용하여 렌즈를 사용할 때와 사용하지 않을 때 각각 솔라셀의 전류를 계산한 결과이다. 점선의 계산에 사용한 파라미터는 다음과 같다. 식(3)의 LED 방사패턴 함수는 앞의 Fig. 4에서 측정된 바와 같이, 렌즈를 사용한 경우에는 (a) $U(\theta)=\cos^{60}\theta$ 이고, 렌즈를 사용하지 않은 경우에는 (b) $U(\theta)=0.05\times\cos\theta$ 를 각각 사용하였다. 식 (5)와 식(7)에서 LED간의 간격은 $a=2.5$ cm, 단위 입체각 당 전류는 $J_0 = 5 \times 10^{-3}$ (mA/sr), 포화상수 $q = 2 \times 10^{-7}$ (mA/cm²) 를 사용하였으며, LED의 광전력밀도는ILX lightwave 사의 OMM-6810B optical multimeter를 사용하여 측정하였다.

Fig. 5의 솔라셀 전류의 측정곡선에서는 LED-array와 솔라셀 사이의 거리 d 가 증가함에 따라 최대값을 보인 후 다시 감소하는 경향을 보였다. LED에 렌즈를 사용한 곡선(a)에서는 $d=70$ cm 부근에서 최대 전류 약 18 mA 이었고, 렌즈를 사용하지 않은

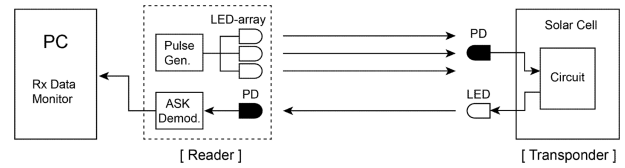


Fig. 6. Experimental setup.

곡선(b)에서는 약 $d=10$ cm부근에서 최대 전류 약 18 mA 이었다. 최대전류가 발생하는 지점을 기준하여 근거리와 원거리에서의 전류가 변화하는 원인은 다음과 같다.

최대전류가 발생하는 거리보다 근접한 영역에서는 거리가 줄어들수록 LED빔의 단면적이 솔라셀 면적보다 작아지고, 솔라셀 표면의 일부에만 빔이 존재한다. 이 상태에서 빔의 입체각은 일정하지만 거리가 감소할수록 빔의 단면적이 줄어들고 빔 내부의 광전력밀도는 증가한다. 따라서 광전력밀도는 높고 단면적이 작은 빔이 존재하는 솔라셀 표면에서는 전류 포화현상이 강하게 발생하며, 그 결과 솔라셀의 총 전류는 감소하게 된다.

최대전류가 발생하는 거리보다 먼 영역에서는 거리가 증가할수록 LED빔의 직경이 솔라셀 면적보다 커지는 반면에 솔라셀의 면적이 LED위치를 기준하여 차지하는 입체각은 감소한다. 그 결과 솔라셀 표면에 입사하는 광전력이 줄어들어 솔라셀의 총전류가 감소하게 된다.

4. 리더와 수동형 트랜스폰더의 연동실험

4.1 단일 문자 인식 과정을 통한 기본 동작 확인

리더와 트랜스폰더 사이의 동작과정을 확인하기 위한 실험구성도는 Fig. 6와 같다.

리더에서는 펄스발생기를 사용하여 주기 10 ms, 펄스폭 0.4 ms의 Negative 펄스를 사용하여 LED-array의 신호광을 PWM 변조하였다. LED-array와 솔라셀은 앞의 3.3절에서 사용한 것과 같다.

포토티랜지스터에서는 신호광의 펄스를 검출하여 마이크로프로세서의 인터럽트 단자로 연결하였다. 트랜스폰더와 리더에서 사용한 광검출기는 모두 Kodenshi 사의 포토트랜지스터 ST-1MLA를 사용하였다. 마이크로프로세서의 인터럽트 루틴에서는 문자 “F”에 해당하는 ASK 신호를 생성하였고, 이 신호에 의하여 LED가 변조되어 신호광을 리더쪽으로 방사하도록 회로를 제작하였다. 트랜스폰더에서는 응답신호용 광원으로 1개의 LED 를 사용하였다.

솔라셀에서 발생한 전류는 트랜스폰더에 설치된 각 소자의 전원으로 사용되었다. 이 전류는 포토다이오드에서 약 1.7 mA, 프로세서에서 약 0.3 mA가 소모되었으며, 나머지 전류는 LED에 공급되었다. 트랜스폰더의 LED에 공급되는 전류가 높을수록 리

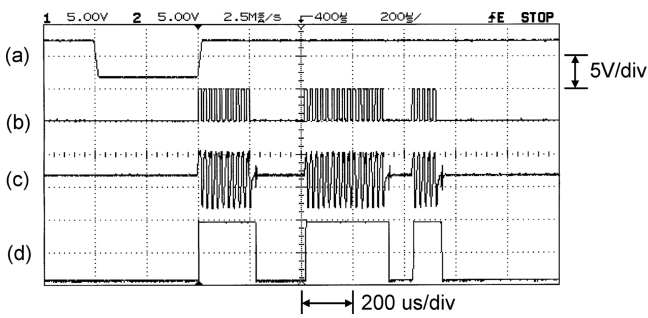


Fig. 7. Observed waveforms on an oscilloscope.

더쪽으로 응답하는 신호광의 세기가 증가하며, 솔라셀에서 발생하는 전류가 약 10 mA 이상이 될 때, 트랜스폰더의 LED출력광이 리더의 수신부에서 주변의 잡음광 레벨보다 높아 신호가 정상적으로 인식되었다.

솔라셀의 전류는 앞의 Fig. 5에서 와 같이 리더의 LED-array에 렌즈를 부착한 경우에는 (30 cm <math>< d < 110\text{ cm}</math>) 범위에서, 렌즈를 부착하지 않는 경우에는 (0 <math>< d < 30\text{ cm}</math>) 범위에서 솔라셀의 전류가 약 10 mA 이상이 되어 트랜스폰더의 응답신호를 리더에서 정상적으로 인식하였다.

이 상태에서 오실로스코프를 사용하여 관측한 전압파형은 Fig. 7과 같다.

Fig. 7의 파형(a)는 리더로부터 트랜스폰더 쪽으로 가시광을 전송할 때 트랜스폰더에 부착된 광검출기의 수신파형으로서 앞의 Fig. 2의 TP1에서 관측한 전압이다. 이 신호는 리더의 LED-array가 주기 10 ms 펄스폭 0.4 ms의 negative 펄스로 PWM변조된 상태임을 나타내며, high 전압은 LED-array가 on상태이고, low전압은 off상태를 나타낸다. 트랜스폰더의 광검출기 전압은 마이크로프로세서의 interrupt 단자에 가해지며, 마이크로프로세서는 펄스의 rising edge에서 동작을 시작하도록 프로그램 하였다.

Fig. 7의 파형(b)는 펄스의 rising edge 지점에서 마이크로프로세서의 출력포트에 발생하는 응답신호로서 편의상 문자 “F”에 해당하는 ASCII코드를 ASK형식으로 발생하였다. 이 파형은 앞의 Fig. 2의 TP2에서 관측한 전압이다. 한 개의 문자 당 8 bit 인 ASCII 코드에서 1bit에 해당하는 비트구간을 100 us로 정하고, 비트가 “high” 상태에서는 펄스폭10 us, 주기20 us인 펄스를 연속적으로 발생하고, 비트가 “low”인 상태에서는 0의 전압을 가지도록 ASK 신호를 발생하였다. 여기에서 “high” 상태에 해당하는 주기 20 us의 펄스열은 기본과 50 kHz의 ASK 신호에 해당한다. 응답신호인 문자 “F”(01000110)는 UART 신호의 생성 규칙에 따라 “high”가 “0”, “low”가 “1”에 해당하며, LSF부터 MSB순서로 전송되므로, 왼쪽이 LSF bit 이고, 오른쪽이 MSB가 된다. 따라서 파형(b)의 상태를 1비트 시간 100 us 간격으로 나열하면 “HHLLHHHLH”이며, 여기에서 맨 앞에 있는 “H” bit는 start bit로서 문자의 시작을 알리는 상태이므로, 이 비트를 제외하고, 나머지 비트열을 역순으로 배열하면

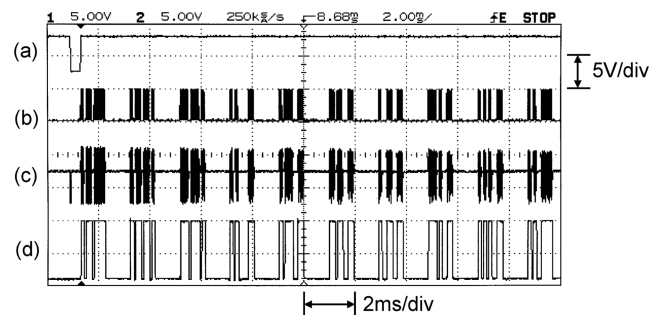


Fig. 8. Observed waveforms on an oscilloscope.

“HLHHLLH”이다. High를 “0”으로 low를 “1”에 대응하여 이 값을 binary부호로 표현하면 01000110가 되어 ASCII 코드의 문자 “F”에 해당한다.

트랜스폰더에서는 이 신호를 FET의 게이트에 인가하며, FET는 이 신호에 따라 LED의 구동전류를 변조하였다. LED에서는 이 신호에 해당하는 가시광을 발생하여 리더 쪽으로 전송하였다.

Fig. 7의 파형(c)는 리더에 설치된 광검출기에서 검출한 AC 전압으로서 앞의 Fig. 2의 TP3에서 관측한 전압이다. 트랜스폰더에서 보낸 응답 신호광의 “high” 상태에서는 50 kHz의 AC전압이 나타나고, “low” 상태에서는 전압이 없는 상태가 되어 ASK 파형을 이루고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 7의 파형(d)는 수신된 ASK 신호가 envelope detector와 comparator로 이루어진 ASK복조회로를 통과하여 최종 복구된 신호를 나타내며, 앞의 Fig. 2의 TP4에서 관측한 전압이다. 이 신호는 트랜스폰더에서 보낸 문자 “F”에 해당하는 ASCII코드임을 알 수 있다. ASK수신회로에서 사용한 Envelope detector는 PN 다이오드1개와 RC 병렬회로를 사용하여 제작하였으며, 저항은 1 kΩ 캐퍼시터는 0.1 uF를 사용하였다. Comparator로는 Texas instrument 사의 op-amp TL071을 사용하였다.

4.2 연속적인 데이터 인식 과정 확인

이 트랜스폰더와 리더를 물품의 자동 관리하기 위한 센서 시스템으로 사용할 경우에는 트랜스폰더의 응답신호가 관리대상 물품의 고유번호가 된다. 응답신호가 여러 개의 문자로 이루어진 특정한 물품번호인 경우에 리더와 트랜스폰더 사이의 정상적인 교신상태를 확인하기 위하여 트랜스폰더의 응답신호를 “ID=12345”로 가정하고 전압파형을 관측하였다. 오실로스코프를 사용하여 관측한 전압파형은 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 파형(a)는 리더의 LED-array가 주기 30 ms 펄스폭 0.4 ms의 negative 펄스로 PWM변조되었을 때 트랜스폰더의 광검출기에서 검출한 전압이다.

Fig. 8 파형(b)는 펄스의 rising edge 지점에서 트랜스폰더의 마이크로프로세서가 발생하는 응답신호로서 ASK변조파형이며, 이 신호가 FET를 통하여 LED전류를 변조하였다. 이 파형에 나

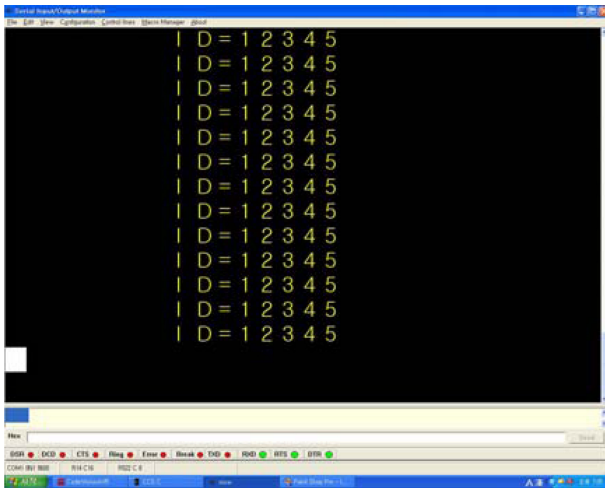


Fig. 9. Character strings displayed on a monitor.

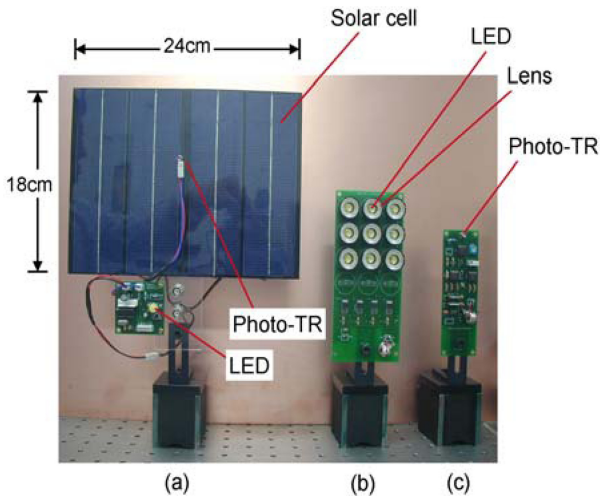


Fig. 10. Experimental setup; (a) Transponder, (b) LED-array (reader), and (c) ASK receiver circuit (reader).

타난 문자열은 왼쪽부터 오른쪽 순서로 “<Tab>, I, D, =, 1, 2, 3, 4, 5, <CR>”에 해당하는 10개 문자의 ASCII코드이며, 여기에서 문자열 맨 앞의 “tab”과 문자열 맨 뒤의 “<CR>”은 리더에 연결된 PC모니터에서 문자열이 화면의 중앙 부근에 한 줄씩 나타나도록 삽입된 것이다.

Fig. 8의 파형(c)는 트랜스폰더의 응답신호를 리더의 광검출기에서 검출한 ASK신호이며, Fig. 8의 파형(d)는 리더에서 최종 복구된 ASCII코드로서 PC의 UART단자에 전달되었다. Fig. 9는 PC의 모니터에 나타난 화면이다.

Fig. 9의 모니터 화면에서는 트랜스폰더의 응답신호인 문자열 “ID=12345”가 정상적으로 표시되고 있음을 볼 수 있다. Fig. 10은 실험에 사용한 트랜스폰더와 리더회로의 외관을 나타낸다. Fig. 10의 (a)는 솔라셀과 포토트랜지스터, LED, 마이크로프로세서 및 FET로 구성된 트랜스폰더의 회로를 나타

낸다. Fig. 10의 (b)는 리더에서 사용한 LED-array의 구조를 나타내며, (c)는 리더에서 사용한 광검출기 및 ASK 수신회로를 나타낸다.

5. 결 론

본 논문에서는 외부 전원 없이 수동형으로 동작하는 가시광 인식용 트랜스폰더를 개발하였다. 트랜스폰더의 구조와 동작원리에 대하여 차례로 소개하고, LED의 방사패턴과 LED-array에 의한 솔라셀 전류를 측정하였으며, 리더와 트랜스폰더를 연동하여 동작실험을 실시하였다.

실험에서는 리더의 광원으로 3×3 LED-array의 신호광을 사용하여 트랜스폰더와의 상호작용을 확인하였다. LED-array의 각 LED에 광집속용 렌즈를 부착한 경우에는 (30 cm d <math>< 110\text{ cm}</math>) 범위에서, 렌즈를 사용하지 않는 경우에는 (0 d <math>< 30\text{ cm}</math>) 범위에서 리더와 수동형 트랜스폰더 사이에 신호가 정상적으로 교환됨을 확인하였다.

이와 같은 수동형 트랜스폰더에서는 외부의 전원을 전혀 사용하지 않고 솔라셀의 전류만을 사용하여 자동 응답하는 구조이므로 관리대상 물체에 영구적으로 부착하여 가시광을 이용한 무선 인식 분야에 넓게 활용할 수 있다. 주요한 활용분야로는 철재 컨테이너의 관리, 차량통행관리, 고가 계측기 관리 등 비접촉식 센서 시스템을 구축하는 데에 많이 이용할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] A. M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien, and D. J. Edwards, “Indoor optical wireless systems-a review”, *Opt. Quantum Electron.*, Vol. 29, pp. 349-378, 1997.
- [2] J. M. Kahn and J. R. Barry, “Wireless infrared communications”, *Proc. IEEE*, Vol. 85, No.2, pp. 265-298, 1997.
- [3] S. H. 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, 2004.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, No. 1, pp. 100-107, 2004.
- [5] S. H. Lee, “Reducing the effects of noise light in a visible light communication system using two color LEDs”, *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 21, No. 6, pp. 429-433, 2012.

- [6] S. H. Lee, "Synchronous visible light communication systems using 3-Level LED modulation", *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 22, No. 6, pp. 421-427, 2013.
- [7] Y. K. Cheong, X. W. Ng, and W. Y. Chung, "Hazardless biomedical sensing data transmission using VLC", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 9, pp. 3347-3348, 2013.
- [8] J. C. Palais, *Fiber Optic Communications*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, p. 183, 2005.