

가시광 무선통신 기반의 스마트 농업 시스템

염태화*, 박성미*, 권혜인*, 황덕규*, 김정창°

A Smart Farming System Based on Visible Light Communications

Tae-Hwa Yeom*, Sung-Mi Park*, Hye-In Kwon*, Duck-Kyu Hwang*, Jeongchang Kim°

요약

본 논문에서는 software defined radio (SDR) 기술 기반의 가시광 (visible light) 무선통신 및 RF 무선통신을 이용한 스마트 농업 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 스마트 농업을 위하여 무선 센서네트워크를 구축하여 LED 식물공장을 지속적으로 모니터링할 수 있다. 또한, LED 식물공장을 자동으로 제어가 가능하도록 하여 농작물 재배지를 항상 최적의 환경으로 유지할 수 있다. 더 나아가, 농작물 재배 환경을 데이터베이스화하여 농작물 재배지가 보다 효율적으로 관리될 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words : LED plant factory, software defined radio, smart farming, visible light communication, wireless sensor network

ABSTRACT

In this paper, we propose a smart farming system using the visible light communication based on the software defined radio (SDR) technology and the conventional RF radio. The proposed system can continuously monitor growth environments of the LED plant factory and automatically control the LED plant factory to keep optimal growth environments. Furthermore, by creating a database from various growth factors, the LED plant factory can be efficiently managed.

I. 서론

최근, 많은 산업분야에 걸쳐서 IT 융합이 가속화되고 있으며, IT 융합 기술은 이제 거의 모든 산업분야에 있어서 필수적인 기술로 자리매김하고 있다. 특히, 농업분야에 IT 기술을 융합함으로써 농업의 생산성을 극대화하여 부가가치를 증대시키고 새로운 시장을 개척하려는 노력들이 이루어지고 있다¹⁻³⁾. 오늘날, 농업 환경은 큰 위협에 직면해 있다. 지구

온난화로 인한 기상 변화, 환경 오염, 생산 비용 증가 등이 농작물 생산량 감소 및 소득 감소로 이어지고 있으며, FTA 등에 따른 전세계적인 생존 경쟁 또한 치열하게 전개되고 있다. 이러한 환경에서도 미국과 네덜란드, 프랑스를 포함한 주요 유럽 국가들은 매우 높은 농업 경쟁력을 갖추고 있다. 이에 비해, 우리나라는 좁은 경지 면적과 높은 생산 비용으로 인하여 선진농업국에 비해 경쟁력이 매우 취약한 상황이다. 이로 인하여, 농업 생산성이 악화되

* 본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

※ 본 논문은 2013년도 한국통신학회 동계종합학술발표회에서 부분적으로 발표되었습니다.

◆ 주저자 : 한국해양대학교 전자통신공학과, judies22@naver.com, 학생회원

° 교신저자 : 한국해양대학교 전자통신공학과, jchkim@hhu.ac.kr, 중신회원

* 한국해양대학교 전자통신공학과, ssw910810@nate.com, kwonhyein@naver.com, a1344aa@naver.com

논문번호 : KICS2013-03-150, 접수일자 : 2013년 3월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 5월 7일

면서 농가의 삶은 매우 어려워지고 있다.

전세계적으로, 농업 경쟁력 향상 방안 마련에 대한 요구가 증대되고 있으며, 저비용/고효율의 IT 융합 스마트 농업 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국에는 Botanical Gardens의 삼나무 생장 모니터링 시스템, 오레곤 주 포도원의 포도 생장환경 요소 감시 시스템의 사례가 있다⁴⁾. 일본 YRP UNL에서는 농산물 생장정보의 수집 분석을 위하여 IT 기술을 활용하고 있으며, 호주 Banksia Woodland에서는 실외 토양 수분상태 감시를 위하여 IT 기술을 접목하고 있다⁴⁾. 국내에서는 모바일과 유선인터넷을 결합하여 축사환경을 실시간으로 모니터링하고 재난발생 시 유무선전화를 이용하여 대응할 수 있는 축사 재난예방 관리시스템의 사례가 있다.

그러나, 무선주파수를 이용한 통신을 이용할 경우 식물의 성장에 악영향을 미친다는 연구사례들이 보고되고 있다. 외국에서는 텔레비전 앞에 놓아둔 콩에서 뿌리와 줄기가 기형적 형태로 성장한 것을 확인한 보고가 있다. 네덜란드에서는 전자파에 의하여 나뭇잎 변색, 개화기 지연 등과 같은 영향을 받는다는 것을 확인한 사례가 있다. 이처럼 RF (radio frequency) 통신에서 발생하는 전자파는 식물의 수분과 반응하여 열을 발생시키며 식물성장에 좋지 않은 영향을 끼친다.

최근에는, LED (light emitting diode) 식물공장 (plant factory)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{5,6)}. LED 식물공장은 저비용/고효율의 LED 조명을 이용하고 인공적으로 온도, 습도, 이산화탄소 등 생장 환경을 조절함으로써 기상변화에 관계없이 농업 생산이 가능하다는 장점이 있다. 이로 인하여, 농작물의 생육 불안정, 수확 불확실성이 해소되어 생산성 향상을 기대할 수 있다. 또한, 무농약 재배 및 그린마케팅 등을 통하여 새로운 시장을 개척하고 부가가치를 크게 증대시킬 수 있다.

본 논문에서는 LED 식물공장 내에 가시광 (visible light) 무선 센서네트워크 (wireless sensor network)를 구축하고 원격 모니터링 및 제어가 가능한 시스템을 구현하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 LED 식물공장과 원격지 모니터링 시스템 간에는 원격 통신을 위하여 RF 통신을 사용하고, LED 식물공장 내부에서는 식물의 광합성을 위한 LED를 이용하여 가시광 통신을 사용한다. 본 논문의 LED 식물공장 내부에서 사용되는 가시광 통신 (visible-light communication: VLC)은 380nm-780nm의 파장을 갖는 가시광 광선을 이용

하여 데이터를 송수신하는 통신기술로서 신호를 송신하기 위하여 LED를 사용한다. LED는 기존 광원에 비해서 에너지 효율 및 수명에 있어서 많은 장점을 가지고 있다. 특히, LED는 빠른 응답특성을 가지고 있으므로 무선통신에 사용하기 용이하다. 그러므로, 인간의 눈이 인지하지 못할 정도의 속도로 LED를 빨리 스위칭함으로써 광원과 동시에 무선통신에 활용할 수 있다^{7,8)}. LED를 이용한 가시광 통신 기술은 인체에 무해하고 주파수 허가를 받을 필요가 없으며 무선 주파수 간섭이 없다는 장점을 가지고 있다. 이에 가전기기, 이동통신기기, 조명, 광고, 의료, 환경, 농수산 등 다양한 분야의 가시광 LED 기반 시설에 가시광 통신이 적용 가능하다^{7,8)}.

이러한 특성을 바탕으로 LED를 무선통신용으로 활용하기 위하여 LED 기반의 가시광 통신에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 먼저, 논문 [9]에서는 실내 가시광 통신에 대한 이론적인 분석이 제시되었고 그 실현 가능성이 증명되었다. 논문 [10]에서는 노트북의 RS232 인터페이스를 기반으로 LED를 사용한 간단한 가시광 통신 시스템이 개발되었다. 논문 [11]과 [12]에서는 아날로그 변복조 방식을 사용하는 가시광 무선통신 시스템을 설계하고 무선 오디오 전송 시스템을 구현하였다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 LED 식물공장과 원격 모니터링 시스템 간에는 원격 통신을 지원하기 위하여 RF 통신을 사용하고, LED 식물공장 내부의 센서네트워크를 위한 통신은 LED를 이용하기 때문에 식물성장에 악영향을 미치지 않는 친환경적인 통신시스템이라 할 수 있다. 본 논문에서는 센서로부터 검출된 온도 및 습도에 대한 정보를 마이크로컨트롤러 보드 (micro-controller board)가 입력으로 받은 후 LED를 스위칭함으로써 데이터를 전송한다. 수신기에서는 광 검출 보드 (photo detecting board)에서 검출된 신호를 신호처리 보드 (signal processing board)에서 복조한다. 복조된 데이터는 RF 통신을 이용하여 모니터링 시스템에 전달된다. 또한, RF 통신을 이용하여 원격 제어 센터로부터 LED 식물공장에 전달된 제어 데이터는 신호처리 보드에서 가시광 통신을 이용하여 마이크로컨트롤러 보드에 전달되고 식물 성장 요소의 제어가 이루어진다. 특히, LED를 사용한 가시광 통신 시스템용 신호처리 보드는 software defined radio (SDR) 및 디지털신호처리 (digital signal processing: DSP) 기술에 기반하여 구현된다. SDR 기술에 기반하여 가시광 무선통신 모델을 디지털로

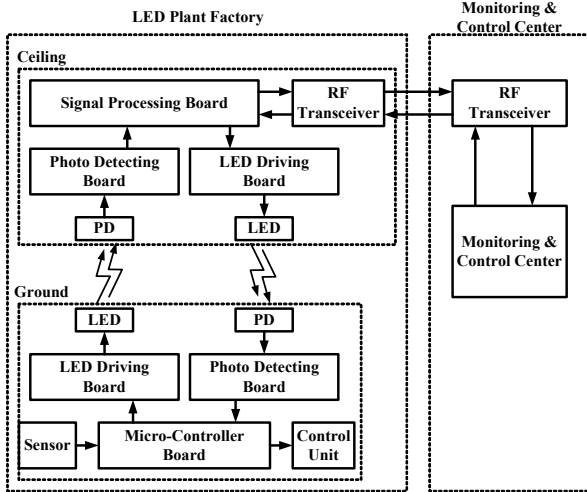


그림 1. 스마트 농업을 위하여 제안된 가시광 통신 및 모니터링/제어 시스템의 구조
 Fig. 1. Structure of the proposed VLC and monitoring/control systems for the smart farming.

구현함으로써 다양한 변복조 기술 및 신호처리 기술들을 손쉽게 적용할 수 있으므로 기술 개발에 소요되는 시간 및 비용을 크게 줄일 수 있다¹³⁾.

II. 시스템 구조

그림 1은 스마트 농업을 위하여 제안된 가시광 통신 및 모니터링/제어 시스템의 구조를 나타낸다. 먼저, LED 식물공장의 지상에서는 각종 식물 성장 요소를 측정하여 가시광 무선통신을 통하여 데이터를 전송하거나 원격지 모니터링 및 제어 센터로부터 전송된 제어 명령의 수행을 담당한다. 천장에 설치된 신호처리 보드는 가시광 통신을 이용하여 지상으로부터 센서 측정 데이터를 전달받거나 마이크로컨트롤러 보드로 제어 명령을 전달한다. 센서에서 측정된 각종 데이터는 마이크로컨트롤러 보드로 입력되고, on-off keying (OOK) 변조되어 LED를 스위칭한다. 여기서, 센서 측정 데이터는 AD 변환기 (analog-to-digital converter: ADC)를 통하여 마이크로컨트롤러로 입력되며 8 비트 값으로 저장된다. 마이크로컨트롤러는 저장된 센서 측정 데이터를 UART (universal asynchronous receiver and transmitter) 방식으로 출력하고 LED 구동 보드 (driving board)를 통하여 LED를 스위칭한다. 즉, 센서 측정 데이터는 직렬 방식으로 전달된다. 수신 광 검출 보드에서 광 검출이 이루어지고 난 후 검출된 신호는 신호처리 보드로 전달된다.

신호처리 보드는 크게 DSP (digital signal

processor)와 AD 및 DA 변환기 (digital-to-analog converter: DAC)로 구성된다. 신호처리 보드로 전달된 신호는 AD 변환기를 통하여 DSP에 전달된다. DSP에서는 OOK 복조를 수행하여 마이크로컨트롤러 보드로부터 전달된 센서 측정 데이터를 복조한다. 복조된 센서 측정 데이터는 DA 변환기를 통하여 RF 송수신기 (transceiver)에 입력되고 RF 방식으로 원격지의 모니터링 및 제어 센터로 전달된다.

원격지의 모니터링 및 제어 센터에서는 LED 식물공장 내부의 각종 식물 성장 요소를 원격으로 모니터링하거나 제어하는 역할을 담당한다. LED 식물공장 내부의 식물 성장 요소를 제어하기 위하여 RF 송수신기를 통하여 제어 정보를 RF 방식으로 LED 식물공장으로 전송한다. LED 식물공장의 RF 송수신기에서 수신된 제어 데이터는 신호처리 보드의 DSP로 전달된다. 신호처리 보드는 수신된 제어 데이터를 OOK 변조하고 DA 변환한 후 LED 구동 보드를 통하여 LED를 스위칭한다. 수신 광 검출 보드에서 광 검출이 이루어지고 난 후 검출된 제어 데이터는 마이크로컨트롤러 보드에 전달된다. 마이크로컨트롤러는 제어 데이터에 따라 식물 성장 요소 제어를 위하여 각종 장치를 제어한다.

III. 구현 및 실험결과

그림 2는 본 논문에서 구현한 가시광 통신 및 모니터링/제어 시스템의 주요 하드웨어를 나타낸다. 마이크로컨트롤러 보드에서 사용된 마이크로컨트롤러는 Atmel 사의 ATmega128이다. 센서에서 측정된 데이터는 ATmega128의 내장 ADC를 통하여 8 비트 값으로 저장되고 UART 방식을 사용하여 LED 구동 보드로 신호를 전달한다.

신호처리 보드에서 사용된 DSP, ADC, DAC의 주요 사양은 표 1과 같다. 신호처리 보드는 표 1의 DSP 칩을 탑재한 Spectrum Digital 사의 DSK6713 보드와 표 1과 같은 사양의 ADC, DAC 칩을 탑재한 ND Tech 사의 AD/DA 보드를 사용하여 구현되

표 1. 신호처리 보드의 주요 사양
 Table 1. Specification of the signal processing board.

	Specification
DSP	TI TMS320C6713 (225MHz), floating-point
ADC	12-bit resolution, Maximum 6Msps
DAC	12-bit resolution, Maximum 165Msps

표 2. 블루투스모듈의 주요 사양
Table 2. Specification of the Bluetooth Module.

	Specification
Operating Distance	Typically 100m
Multiple Access	Maximum 4

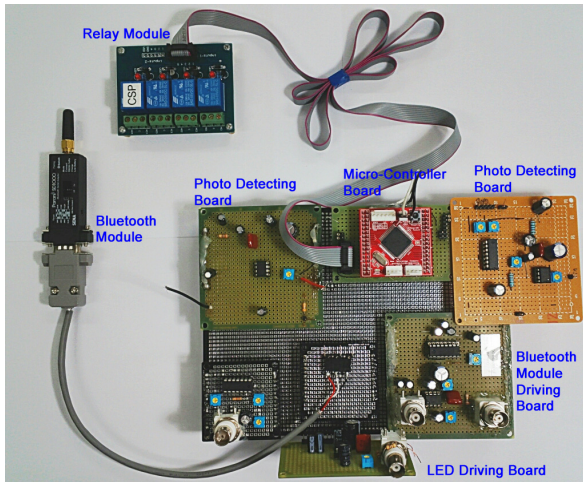


그림 2. 가시광 통신 및 모니터링/제어 시스템의 주요 하드웨어 구현 결과
Fig. 2. Hardware implementation of the VLC and the monitoring/control systems

었다. 신호처리 보드의 ADC 입력 및 DAC 출력 신호는 $\pm 1V$ 이내로 제한되므로 National Semiconductor 사의 LM386 및 LM2901 칩을 사용하여 입출력 신호의 크기를 조절한다. LED 식물공장과 원격지 모니터링 시스템 간의 RF 통신은 블루투스 (Bluetooth) 방식을 이용한다. 표 2는 본 연구에서 사용된 블루투스 모듈의 사양을 나타내며, 통신가능 거리는 100m 정도이다.

본 논문에서 가시광 통신은 LED 식물공장 내부에서 마이크로컨트롤러 보드와 신호처리 보드 사이의 데이터 전달을 위하여 사용된다. 이를 위하여 마이크로컨트롤러 보드와 신호처리 보드 사이에 직렬 방식의 통신 시스템을 구현하였다. 이때, 송신기와 수신기의 국부 발진기 (local oscillator) 주파수가 완벽히 일치하지는 않으므로 타이밍 드리프트 (timing drift)가 발생한다. 또한, 이로 인하여 샘플링 클럭 오프셋 (sampling clock offset)이 발생하여 수신기에서 데이터 복조 시 오류가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 광 검출기 출력력을 신호처리 보드에서 4배 과잉 샘플링 (over-sampling)함으로써 샘플링 클럭 오프셋으로 인한 데이터 복조 오류 문제를 해결하였다.

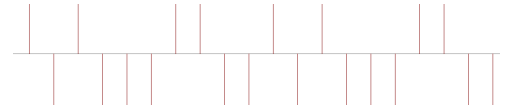
그림 3은 가시광 통신 송수신 신호를 나타낸다.



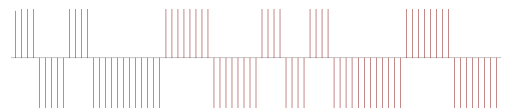
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 3. 제안된 시스템의 송수신 신호. (a) 마이크로컨트롤러 보드로부터 LED 구동 보드로의 출력 신호, (b) 광 검출 보드 출력 신호, (c) 9600sps로 샘플링된 후 DSP에 저장된 값, (d) 4배 과잉 샘플링된 후 DSP에 저장된 값, (e) 블루투스 모듈로 입력되는 신호

Fig. 3. Snapshot of transmitted and received signals for the proposed system. (a) output signal of the micro-controller board to the LED driving board, (b) output signal of the photo detecting board, (c) sampled values of the output of the photo detecting board (9600sps), (d) the over-sampled values of the output of the photo detecting board (4x9600sps), (e) input signal of the Bluetooth module.

여기서, 센서 측정 데이터 및 제어 데이터 전송은 고속을 요구하지 않으므로 데이터 전송률을 9600bps로 설정하였다. 그림 3 (a)는 마이크로컨트롤러 보드에서 LED 구동 보드로 출력되는 신호의 파형을 나타내고, 그림 3 (b)는 광 검출 보드에서 검출된 신호의 파형을 나타낸다. 신호처리 보드에서는 광 검출 보드에서 검출한 신호로부터 데이터를 복조하기 위하여 ADC를 거쳐 DSP로 수신 값이 전달된다. 그림 3 (c)는 그림 3 (b)의 광 검출된 신호를 9600sps (sample per second)로 샘플링하여 DSP에 저장된 값을 나타낸다. 그림 3 (d)는 광 검출된 신호를 4배 과잉 샘플링하여 DSP에 저장된



그림 4. LED 식물공장 모형
Fig. 4. Model of the LED plant factory.

값을 나타낸다. 그림 3 (e)는 DSP에서 복조된 신호로부터 신호처리 보드의 DAC를 통하여 블루투스 모듈로 입력되는 신호를 나타낸다.

또한, 본 연구에서는 가시광 및 RF 통신 시스템을 연동하여 LED 식물공장의 센서 측정 데이터를 모니터링 및 제어 시스템으로 전송하여 정상적으로 모니터링됨을 확인하였다. 편의상, 본 실험에서는 온도 및 습도 정보만 모니터링 및 제어하도록 구현하였으나 보다 많은 종류의 센서들을 추가적으로 활용할 수 있을 것이다. 그림 4는 본 연구에서 구현한 시스템의 동작 여부를 확인하기 위하여 제작한 LED 식물공장 모형을 나타낸다.

그림 5는 GUI (graphical user interface) 환경의 원격지 모니터링 및 제어 시스템 화면을 나타내며 LabVIEW를 이용하여 구현되었다. 본 논문에서는 LED 식물공장의 온도 및 습도를 모니터링하고 제어하도록 구현하였다. 일정 시간 간격으로 LED 식물공장 내부의 온도 및 습도 정보를 화면에 나타내고 그 변화를 관찰할 수 있도록 설계하였다. 그림 5는 측정된 데이터를 20분 간격으로 전달받아 표시한 결과를 나타낸다. LED 식물공장의 내부 온도 및 습도를 원격으로 제어하기 위하여 2가지 동작모드를 구현하였다. 그림 5의 제어 화면 하단 중앙에 수동모드 및 자동제어 선택 버튼이 있다. 먼저, 수동모드에서는 사용자가 직접 난방 및 가습 장치를 ON/OFF 제어할 수 있다. 자동모드에서는 미리 설정된 온도 및 습도의 목표값 범위와 현재 측정된 값들을 비교하여 난방 및 가습 장치를 자동으로 조절할 수 있다. 그림 6은 LED 식물공장 내부의 온도 및 습도 측정값을 모니터링 및 제어 시스템으로 전송한 결과를 나타낸다. 그림 6에서 온도 및 습도

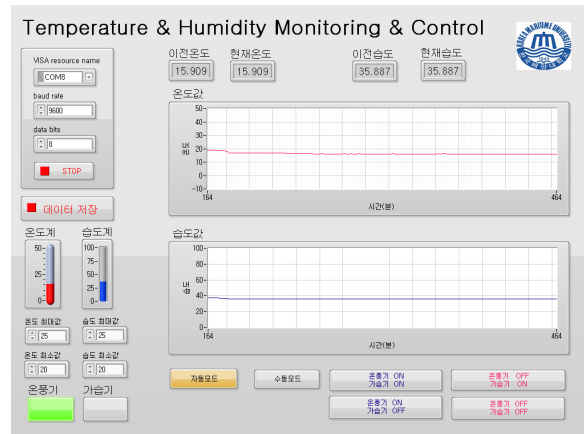
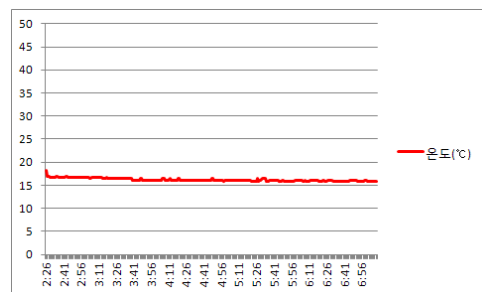
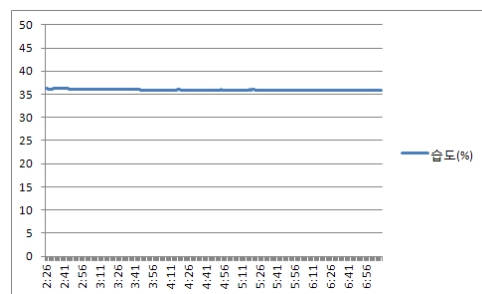


그림 5. 모니터링 및 제어 시스템 화면
Fig. 5. Monitoring and control panel of the proposed system.



(a)



(b)

그림 6. LED 식물공장내 온도 및 습도 측정값. (a) 온도, (b) 습도

Fig. 6. Measurements of the temperature and humidity in the LED plant factory. (a) Temperature, (b) Humidity

관찰 구간은 오후 2시 26분부터 대략 4시간 30분 동안이다. 측정 결과로부터 구현한 시스템이 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 LED 식물공장의 농작물 성장 요소를 모니터링하기 위한 무선 센서네트워크를 구축

하고, SDR 기반의 가시광 통신시스템과 RF 통신시스템을 연동하여 스마트 농업 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템에서는 원격지 모니터링 및 제어 센터에서 LED 식물공장의 각종 성장 요소를 모니터링 및 제어할 수 있다. 본 연구에서 구현된 시스템을 이용하여 온도와 습도 정보를 모니터링하고 제어 가능함을 성공적으로 테스트했다. 본 연구 결과는 재배하고자 하는 농작물의 성장에 미치는 다양한 요인들을 측정할 수 있는 센서들을 추가하여 맞춤형 모니터링 및 제어 시스템을 구축하는데 활용할 수 있을 것이다. 특히, LED 식물공장에 전자파가 차단될 수 있도록 장치를 한다면 외부로부터의 전자파를 최소화할 수 있을 것이다. 또한, LED 식물공장 내부에서는 식물의 광합성에 이용되는 LED에 기반한 가시광 통신을 이용하므로 농작물의 성장에 미치는 전자파의 영향이 최소화될 것으로 기대된다.

References

- [1] K. H. Lee, C. M. Ahn, and G. M. Park, "Characteristics of the convergence among traditional industries and IT industry," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 23, no. 2, pp. 13-22, Apr. 2008.
- [2] O. Mirabella and M. Brischetto, "A hybrid wired/wireless networking infrastructure for greenhouse management," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 2, pp. 398-407, Feb. 2011.
- [3] T. H. Yeom, S. M. Park, H. I. Kwon, D. K. Hwang, and J. Kim, "A smart farming system based on visible light communications," in *Proc. KICS Conf.*, pp. 732-733, Yongpyoung, Korea, Jan. 2013.
- [4] S. C. Jang, S. I. Ham, Y. J. Hwang, I. M. Na, K. P. Youn, Y. J. Lee, J. K. Lee, and B. M. Jung, "RFID/USN-based cultivation monitoring system," in *Proc. KIIE Conf.*, pp. 951-958, Daejeon, Korea, May 2006.
- [5] B.-G. Gim, W.-J. Lee, and S.-Y. Heo, "Construction of a testbed for ubiquitous plant factory monitoring system using artificial lighting," in *Proc. KIIT Conf.*, vol. 2010, pp. 272-275, Suwon, Korea, May 2010.
- [6] D.-S. Ko and H.-S. Park, "The study for design of growth environment monitoring system of vertical farm," in *Proc. KIIT Conf.*, vol. 2011, pp. 372-375, Chungju, Korea, May 2011.
- [7] D. H. Kim, S. K. Lim, and T. G. Kang, "Application service model for visible light communication coupled with LED illumination," *KICS Inform. Commun. Mag.*, vol. 26, no. 5, pp. 3-9, May 2009.
- [8] S. K. Lim, D. H. Kim, I. S. Jang, Y. J. Kim, and T. G. Kang, "Technology trends of visible light communication coupled with LED illumination," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 25, no. 4, pp. 38-47, Aug. 2010.
- [9] M. Kavehard, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [10] K. Cui, G. Chen, Z. Xu, and R. D. Roberts, "Line-of-sight visible light communication system design and demonstration," in *Proc. IEEE Symp. CSNDSP*, pp. 621-625, Newcastle, U.K., July 2010.
- [11] S. H. Cho, S. K. Han, C. W. Roh, S. S. Hong, and B. J. Jang, "Implementation of visible light communication system modulated by a switching driver circuit of lighting LED," *J. KICS*, vol. 21, no. 8, pp. 905-910, Aug. 2010.
- [12] Y. J. Kim, H. J. Lee, and K. R. Sohn, "Short-range underwater optical wireless visible light communication systems using a frequency modulation," in *Proc. Photonics Conf.*, pp. 162-163, Pyeongchang, Korea, Nov. 2011.
- [13] T. H. Yeom, D. K. Hwang, J. W. Park, J. W. Kim, K. R. Sohn, and J. Kim, "Wireless audio transmission system based on visible-light communications," in *Proc. ICROS Conf.*, Seoul, Korea, Apr. 2012.

염 태 화 (Tae-Hwa Yeom)



2006년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 학사과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학

김 정 창 (Jeongchang Kim)



Jeongchang Kim was born in Daegu, Korea, on June 23, 1977. He received the B.S. degree in electronics, communication and radio engineering from Hanyang University, Seoul, Korea, in 2000, and M.S. and Ph.D. degrees from Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, Korea, in 2002 and 2006, respectively, both in electronic and electrical engineering. From 2006 to 2008, he was a Full-Time Researcher at POSTECH, and from 2008 to 2009, he was a Research Assistant Professor. From 2009 and 2010, he was with the Broadcasting Systems Research Department at Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) as a senior member of engineering staff. In 2010, he joined the Department of Electronics and Communications Engineering at Korea Maritime University, Busan, Korea, where he is currently an Associate Professor. His current research interests include MIMO, space-time codes, OFDM, digital communication systems.

박 성 미 (Sung-Mi Park)



2010년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 학사과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학

권 혜 인 (Hye-In Kwon)



2010년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 학사과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학

황 덕 규 (Duck-Kyu Hwang)



2006년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 학사과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학