

---

# LED 조명 기반 가시광 무선 통신을 이용한 실내 위치 인식 실험 및 분석

공인엽\* · 김호진\*\*

Experiments and its analysis on the Identification of Indoor Location by Visible Light  
Communication using LED lights

In-Yeup Kong\* · Ho-jin Kim\*\*

## 요 약

최근 복합 문화 시설이 증가하면서 지하 공간 활용이 확대됨에 따라, 사용자의 실내 위치에 따른 주변 정보만을 무선으로 제공해주는 맞춤형 서비스에 대한 요구도 확산되고 있다. LED 조명을 이용한 가시광 통신 방식의 경우, GPS를 사용할 수 없는 실내 공간에서 위치 기반 서비스를 구현하기에 적합하다. 이에 본 논문에서는 가시광 통신을 이용한 실내 위치 기반 서비스를 구현하기 위해 기준 위치를 구분하는 실험에 대해 다룬다. LED 조명의 특성을 고려하여 LED와 PD 간의 각도 및 거리에 따라 LED 조명별로 서로 다른 식별 패턴을 ASCII 코드로 전송한 결과 최대 1.75m의 거리까지 LED 조명의 식별자를 수신할 수 있음을 확인한다. 이러한 실험 결과를 통하여 LED 조명을 이용한 실내 네비게이션의 가능성을 확인해볼 수 있다.

## ABSTRACT

Recently, because of complex cultural space, underground space are becoming larger. Therefore, the demand for location-based services is growing. VLC (Visible Light Communication) is based on the LED lighting infrastructure so that suitable LBS (Location-based service) is possible for the targeted places in indoor space. To experiment with indoor LBS by VLC, we measure the identification distance according to variable angles between LED and photo diode. We send the different ASCII code for each LED light, then we found the maximum identification distance is 1.75m from LED lights. From the results of this experiment, we show that indoor navigation is possible.

## 키워드

LED, 가시광 통신, 실내 위치 인식, 위치 기반 서비스

## Key word

LED, Visible Light Communication, Identification of Indoor Location, Location-based Service

---

\* 정회원: 금오공과대학교 전자공학부 (교신저자, iykong@kumoh.ac.kr) 접수일자 : 2011. 04. 21  
\*\* 준회원: 금오공과대학교 전자공학과 대학원 심사완료일자 : 2011. 04. 28

I. 서 론

과거에는 빛을 이용하여 신호를 전달하거나 조명으로 우리에게 빛을 비춰주는 기능이 구분되어 있었지만, 조명과 통신을 융합한 기술인 가시광 통신에 의해 우리는 조명 아래에서 정보를 받아 볼 수 있는 가시광 통신 방식을 통해 유비쿼터스 서비스를 제공받을 수 있다. 가시광 통신이란, 가시광 대역을 사용하는 LED 조명을 통해 사람의 눈이 인식할 수 없는 속도로 점멸하여 정보를 보내면, 빛 에너지를 전기 에너지로 바꿔주는 PD(Photo Diode)를 통해 정보를 전송하는 기술이다 [1]-[2]. 이는 LED 조명 인프라를 이용하기 때문에 다른 근거리 무선 통신 기술보다 추가적인 비용 부담이 적다 [3].

위치 기반 서비스 분야에서도 가시광 통신이 고려될 수 있다. 휴대전화로 알 수 있는 위치의 범위는 전화한 장소에서 1km 정도, 교외에서 수 km 정도로 부정확하다. 또한 현재 많이 사용되고 있는 GPS는 정밀도는 좋으나 실내에서는 위성의 전파가 매우 낮아 주로 실외에서만 사용된다. 무선 GPS에 비해 가시광 통신을 이용한 실내 위치 기반 서비스는 조명이라는 실내 인프라를 이용한 정밀도가 높은 위치검출과 단거리 무선통신이므로, 실내 내비게이션의 응용으로 가장 좋은 후보 기술이다[4].

기존의 RF(Radio Frequency)나 적외선과 같은 전파 무선 통신을 이용한 실내 위치기반서비스와 실내 내비게이션에 관한 연구들이 있지만 가시광 통신을 이용한 실내 위치 인식에 관한 연구는 많지 않다. 따라서 본 논문에서는 실내공간의 위치 인식을 위해 수신기는 2×2 배열형태의 PIN-PD [5]로 제작하고 송신기 역할을 하는 조명은 8×8 배열로 백색 Lamp LED를 (3mm, 5mm)[6] 사용하여 제작하였다. 실험은 수신기의 각도에 따라 조명과 수신기의 수신거리를 측정하는 실험과 각 조명마다 다른 문자를 전송하여 조명아래에서 문자를 수신하여 현재 위치를 알 수 있도록 하는 실험을 진행하였다. 이 실험들을 바탕으로 실내에서 조명을 이용한 위치기반서비스의 가능성을 확인하였다.

II. 본 론

2.1. 가시광 통신의 원리

LED는 전기를 빛으로 바꾸는 성질을 이용하여 조명으로 활용한다. 따라서 LED 조명을 이용한 가시광 통신의 원리는 그림 1에서 표현한 것과 같이 LED와 PD의 깜박임을 송수신하는 원리를 기본으로 하여 조명 기능을 유지하면서 통신도 동시에 할 수 있는 것이다[7]-[8].



그림 1. 가시광 통신 원리[7]  
Fig 1. The Principle of VLC

전기에서 빛으로 바꾸는 속도가 약 30nm에서 250nm에 달하는데, 이렇게 빠른 스위칭(on-off)을 통신 모듈레이션 하여 통신할 수 있다. 사람은 초당 100번 이상 깜박이면, 깜박임을 인식하지 못하고 계속적으로 켜진 것으로 인식한다. 통신에 의한 깜박임이 있지만, 계속적으로 켜진 것으로 인식되기 때문에 조명의 기능도 유지된다. PD는 LED와 유사하게 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기능을 갖고 있다. PD와 LED는 물리적 특성이 비슷하기 때문에 최근에는 LED와 PD를 동시에 제공하는 제품도 있다[7].

2.2. 가시광 통신의 특징

가시광 통신은 사람의 눈에 보이는 빛을 사용하기 때문에 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, ISM(industrial scientific and medical) 대역과의 간섭도 없으며, 물리적으로 보안기능을 제공하고, 조명을 이용하여 초정밀 측위에 사용할 수 있는 장점이 있다[1]. 최근에는 가시광 통신에 대한 관심이 선진국인 미국, 일본, 영국 등을 중심으로 높아지고 있으며 기존 조명 기구를 LED 조명으로 변경하도록 권장하는 법률 제정을 추진

중이다. 산업자원부는 1530 프로젝트를 수립하여 2007년 2월에 발표하였다. 1530 프로젝트는 2015년에 LED 조명을 30%로 전환하는 프로젝트이며, 프로젝트 실험 결과로서 년 1조 6천억원의 전력절감효과를 예상하고 있다[9].

가시광 통신은 표 1과 같이 유선 광통신과 무선 광통신과의 기능 비교를 함으로써 보다 명확하게 이해할 수 있다. 유선 광통신은 광 섬유 내부에 광을 송신하고 수신함으로써 빛의 속도로 통신할 수 있는 기술이다. 1,500nm 파장대를 사용하며, FTTH(Fiber to the home), PON(Passive Optical Network), 광전달망, 광가입자망, WDM(Wavelength Division Multiplexing) 등의 기술로 발전한 상용화된 기술이다. 무선 광통신 기술은 LD(Laser Diode)를 이용하여 무선으로 통신하는 기술로서 건물간 무선통신, FSO(Free Space Optic), IR(infrared ray) 통신 등이 있다.

이는 주파수의 특성상 장거리 고속 무선통신이 가능하며, 가시광 통신 파장 780nm에서 유선 광통신 파장 1,500nm까지의 파장을 사용한다. 가시광 통신에 사용하는 파장 측면에서 유선 광통신과 무선 광통신과 차이가 있다. 가시광 통신은 광통신에서 개발된 많은 핵심 원천 기술을 이용하여 적용할 수 있으며, 기존의 광통신은 송신 및 수신 광원이 하나인 점에 비해 가시광 통신은 광원이 여러 개인 점이 달라서 하나의 송신 기술은 받아들이고, 여러 개의 광원 송신 또는 수신 기술에 대하여는 추가로 개발하여야 한다[9].

### 2.3. 국내의 표준화 동향

가시광 통신의 국내 표준은 TTA (한국통신기술협회)의 가시광 통신 서비스 실무반에서 추진 중이며 2007년 11월에 2008년도 35대 정보통신 중점 기술 표준화 VLC 로드맵이 완료되었으며, 현재 VLC 표준 로드맵이 완료된 상태이다. 국내 표준은 가시광 무선통신 PHY 기술, 가시광 무선통신 MAC 기술 및 가시광 무선통신 응용 프로토콜 기술의 세 가지 기술 분야에서 표준이 진행 중이다[9]-[10]. 또한 국제 표준 그룹인 IEEE 802.15.7 VLC에서 WPAN 영역에서 LED 통신을 위한 PHY와 MAC 표준 규격을 제정하고 있다[11]-[12].

표 1. 광통신 기술간 비교[9]  
Table 1. Comparison of Optical Technology

| 분류     | 설명                          | 관련기술                            | 특징   |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| 유선 광통신 | 유선의 광섬유 내부에 광 송수신하는 기술      | FTTH, 광전달망, 광가입자망, PON, WDM     | - 유선 고속통신<br>- 1,500nm 파장 사용                               |
| 무선 광통신 | LD를 이용하여 무선 광송수신하는 기술       | LD통신, 건물간 무선 통신, FSO, 광무선통신, IR | - 장거리 고속 무선통신<br>- 780nm이상 파장 사용                           |
| 가시광 통신 | LED 조명을 이용한 가시광 무선 송수신하는 기술 | 가시광 통신                          | - 조명 인프라 통신<br>- 센서/측위 응용 가능<br>- 380-780nm (가시광)인체 안전한 파장 |

## III. 조명을 이용한 실내 위치기반서비스

### 3.1. 위치기반서비스의 필요성

위치기반서비스는 사용자에게 변경되는 위치에 따르는 특정 정보를 제공하는 서비스로서, 차량에서 뿐만 아니라 온라인으로 서비스되는 길안내 서비스 등 다양하다[13]-[14].

위치 측정 방식으로는 네트워크 기반 (Network Based) 방식과 단말기에 장착된 GPS 수신기 등을 이용하는 단말기 기반 (Handset Based) 방식으로 구분할 수 있으며, 이를 혼합하여 사용하는 혼합 (Hybrid) 방식으로 분류할 수 있다. 위치기반서비스의 위치 측정 방식 대한 사항은 표 2에 자세히 나타내었다[15].

위치 측정 기술은 위치 기반 서비스의 근간이 되는 기술로 사용자들에게 풍부한 서비스를 제공해 줄 수 있다는 측면에서 파급효과가 크다. 종래의 경쟁 기술인 Galileo나 GPS 시스템은 기술적으로 성숙되어져 있고, 측위의 정확도 측면에서도 만족할만한 성능을 제공한다. 하지만, 실내 환경에서는 위성 신호를 수신하기 어려우므로 그 활용이 제한되어 있다. RFID (Radio Frequency Identification), USN (Ubiquitous Sensor Networks) 기술은 칩과 센서의 단가가 아직 비싸므로 보급에 어려움을 겪고 있다. 가시광 통신은 측위의 정확도 면에서도 반사 후

지연되어 들어오는 신호 성분이 적으므로 정확한 측정이 가능하다[13].

표 2. 위치기반서비스의 위치 측정 방식[15]  
Table 2. Positioning Technology for LBS

| 위치 측정 기반기술 |                       | 정밀도     | 실내 위치 추적 | S/W 기반 단말기 | 비용       |
|------------|-----------------------|---------|----------|------------|----------|
| 네트워크       | Operator cell-id      | 250-5km | Yes      | No         | Low      |
| 단말기        | Cell-id (Database 필요) | 250m    | Yes      | Yes        | Low      |
|            | GPS                   | 10m 이내  | No       | Yes        | Moderate |
|            | Wifi                  | 20-40m  | Yes      | Yes        | Low      |
| 혼합         | A-GPS                 | 10-50m  | Yes/No   | Yes        | Moderate |

가시광 통신을 이용한 위치 측정은 대형, 다층의 실내 공간에서 LED 조명 인프라를 기반으로 목적의 대상이나 장소에 적합한 위치기반서비스를 제공받을 수 있다.

3.2. 전파 무선통신과 가시광 통신의 기술 비교

가시광 통신은 현재 가장 많이 사용되고 있는 무선 통신 시스템인 적외선 통신과 RF 통신과 비교하면 다음과 같다. 먼저, 적외선 통신은 현재 개인 영역 네트워크 (PAN)에서 가장 많이 사용되는 통신 중 하나이지만 적외선 통신에서는 신호가 넓은 영역으로 발산하기 때문에 높은 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)에 도달하기 위해서 전력 소모가 심하다는 단점이 있다. 이에 비해 가시광 통신에서는 신호의 방향과 폭을 조절하여 신호를 수신기에 집중시킬 수 있으므로 낮은 전력으로도 높은 전송률을 제공할 수 있다 [8],[16]-[17].

한편, RF 통신을 이용하는 셀룰러(Cellular) 시스템이나 무선랜 시스템의 경우 한정된 주파수 대역을 사용하므로 설치되는 기지국의 수가 증가함에 따라 간섭 문제로 인하여 사용자에게 원하는 수준의 서비스를 제공할 수 없다. 가시광 통신은 기존의 무선 통신 주파수대역 이외에 간섭이 없는 새로운 광대역 주파수를 사용하는 것

이므로 초고속 무선 통신 서비스를 지원할 수 있다. 가시광 통신은 이 외에도 높은 보안성, 설치의 용이성 등의 이점을 제공한다. 표 3은 가시광 통신(VLC)과 무선 주파수(RF) 사이의 차이점을 비교하였다[17].

IV. 실험 및 고찰

4.1. 실험 구성

본 논문에서는 GPS 정보를 수신할 수 없는 실내에서 위치기반서비스를 구현하기 위해 무선 전파 통신이 아닌 가시광 통신을 이용하여 위치 정보를 인식하였다. 그리고 LED 조명마다 식별 번호(ID)를 부여하여 수신기에서 ID를 확인하였다.

표 3. VLC와 RF간 차이점 비교[8]  
Table 3. Comparison of VLC and RF

| 특성        | RF     | VLC   | VLC 장점                 |
|-----------|--------|-------|------------------------|
| 주파수 할당 규제 | 있음     | 없음    | 국제 호환성에 문제없음           |
| 신호의 벽 통과  | 가능     | 불가능   | 근본적 보안성 내포, 주파수 재사용 가능 |
| 전자파 유해성   | 있음     | 없음    | 친환경 녹색기술               |
| 다중경로 분산현상 | 발생     | 발생    | 고속통신에서 문제점 있음          |
| 주요 잡음 성분  | 다른 사용자 | 주변 빛  | 실내/단거리 통신에 응용 가능       |
| 기술개발 현황   | 표준화 진행 | 연구 단계 |                        |

또한 본 실험에서는 주파수를 변화하여 조명의 ID를 전송하고 구분하므로, 각 조명간의 수신기의 수신범위가 겹치지 않도록 조명을 배치하는 것을 원칙으로 한다. 즉 조명간격(Ds)는 조명의 수신범위(Dr)을 원으로 가정했을 때 조명의 중심으로 한 원의 직경보다 커야한다. 그림 2는 조명의 수신범위와 조명의 배치 형태를 도식화한 것이다. 여기서 (c)는 수신기가 조명의 ID를 수신하지 못할 수 있으므로 고려하지 않았다.

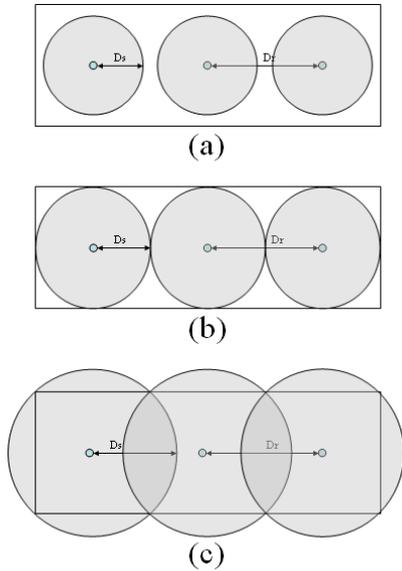


그림 2. 조명의 수신범위(Dr)와 조명의 배치 간격(Ds)  
 Fig 2. Coverage(Dr) and spacing(Ds) of the illumination  
 (a)  $Dr < Ds/2$  (b)  $Dr = Ds/2$  (c)  $Dr > Ds/2$

본 논문의 실험 구성은 LED 조명을 이용한 가시광 통신 시스템의 송/수신기를 그림 3에서와 같이 제작하였다. 먼저, 송신기는 LED 조명으로 백색 LED(Lamp) 3mm(8×8)와 5mm(8×8), 실제 LED조명(7×10)으로 데이터를 송신하고, LED를 동시에 제어하기 위하여 NPN 스위칭 트랜지스터를 연결하였다. 수신기는 PIN-PD(2×2)에서 송신기의 빛을 감지하고 증폭기와 비교기를 이용하여 데이터를 처리했다.

송/수신기의 제어를 위해 ATmega128을 사용하였으며, 실험은 각 조명별 각도에 따른 거리 측정 실험과 송신기의 조명에 서로 다른 2개의 주파수의 입력을 수신기의 주파수 구분여부를 확인한다. 그리고 조명별로 다양한 ID를 부여하기 위해 송신기에 아스키코드를 넣어 이를 수신기에서 제대로 수신하는지를 확인하였다.

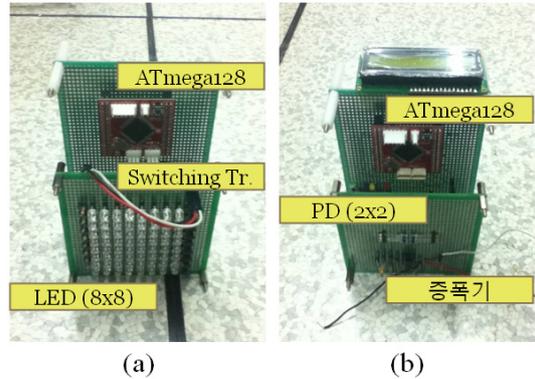


그림 3. 가시광 통신을 위한 (a)송신기, (b) 수신기  
 Fig 3. For VLC (a) transmitter, (b) Receiver

#### 4.2. 각도에 따른 수신 확인 실험

이 실험에서는 LED 조명과 수신기 사이의 각도를  $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지  $5^\circ$ 씩 증가시키면서 거리 또한 10cm에서부터 수신 가능한 거리까지 10cm씩 거리를 늘리면서 수신 여부를 확인하였다.

본 실험에서는 3mm와 5mm LED 조명과 현재 상용된 LED 조명으로 실험을 진행하였다. 그림 4에서는 상용화된 LED 조명으로 실험한 사진이다. 그림 5의 그래프에서는 3mm와 5mm LED 조명은 각도가  $20^\circ$  이후에는 수신되는 거리가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다. 하지만 상용화 되는 LED 조명을 이용한 실험의 경우에는 수신기의 인식 거리가 서서히 감소함을 알 수 있었다.

#### 4.3. 각 조명별 문자 구분 실험

본 논문에서는 조명의 ID를 다양하게 하기 위하여 주파수의 종류를 다양하게 주는 것이 아니라 조명에 아스키 코드를 주기적으로 전송하고 이것의 수신여부를 확인하는 실험하였다. 그림 6에서는 본 실험에서 문자를 보내고 수신기에서 확인하는 진행과정을 순서대로 표현하였다.

그림 7에서는 연구실에서 수신기를 들고 LED 조명의 아래쪽으로 이동하며 수신기의 상태를 확인하였다. 연구실의 높이는 2.6m이고, 수신기와 연구실의 천장사이의 거리는 약 1.3m이다. 조명간의 간격은 1m씩 배치하였다. 그림에서와 같이 LCD 화면에는 각 조명을 이동할 때마다 수신되는 문자를 카운트하도록 하였다.



그림 4. LED 조명을 이용한 거리 측정  
Fig 4. The distance measurement using illumination

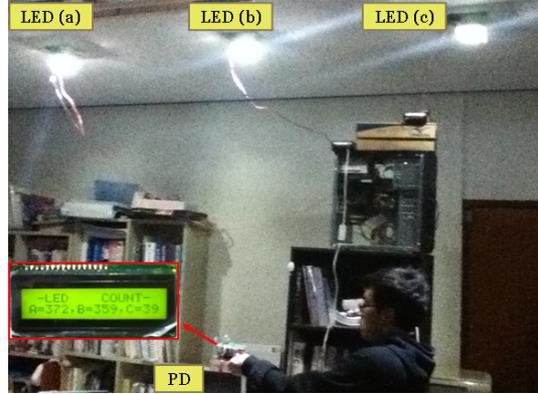


그림 7. 조명의 문자를 확인하는 실험  
Fig 7. Experiments to determine the character of the illumination

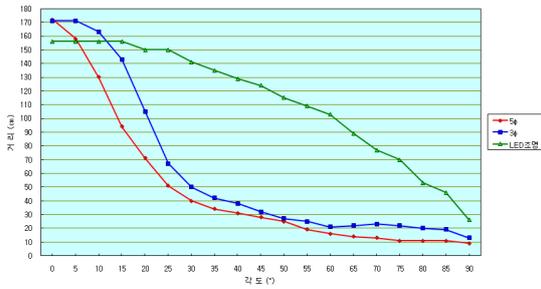


그림 5. 각도 변화에 따른 각 조명별 수신 거리  
Fig 5. Variation of the angle reception distance of each illumination

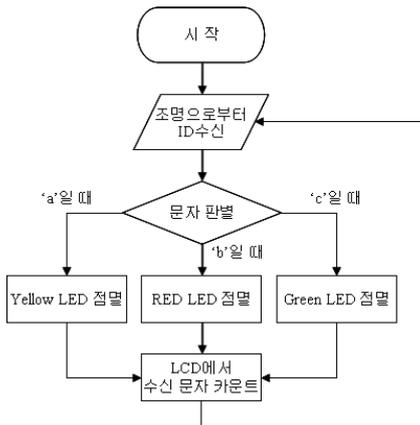


그림 6. 순서도  
Fig 6. Flowchart

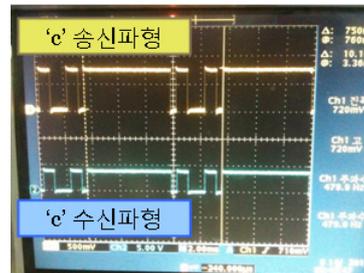
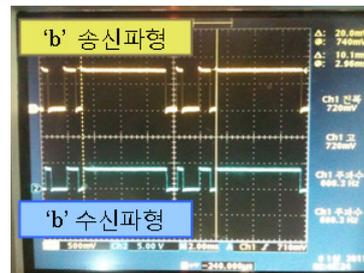
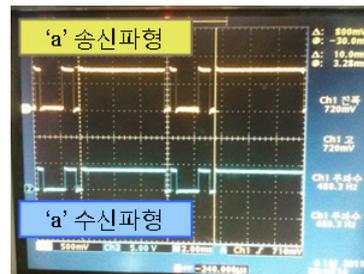


그림 8. 문자별 송/수신 출력 파형  
Fig 8. Output waveform

그림 8은 각 문자별 출력을 오실로스코프로 측정한 파형으로, 문자를 10ms마다 한번씩 1,000회를 전송하고, 수신기에서는 문자를 받을 때마다 카운트를 하여 수신을 확인하였다. 175cm 이상의 거리에서는 빛을 전혀 감지하지 못했고 그 이하의 거리에서는 모두 오류가 발생하지 않았다.

수신기를 손에 휴대했을 때 한국인의 평균 신장에 따른 남성과 여성의 허리까지 높이는 각 1.08m와 1m로 조사되었다[21]. 이를 바탕으로 연구실의 바닥에서 조명까지의 높이를 2.6m로 여성의 높이로 수신기와 거리를 가정한다면 1.6m 정도의 거리가 예상된다. 따라서 앞선 실험들을 통하여 확보되는 최대 1.75m의 거리 이하에서는 조명으로부터 데이터를 전송받을 수 있으며, 이를 이용하여 위치 인식의 가능성을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 LED 조명 인프라를 이용한 가시광 통신으로 실내에서 위치기반서비스가 가능하도록 시스템을 구현하였다. 이에 대한 실험으로 LED 조명(송신기)과 수신기 사이의 수신거리를 각도의 변화에 따라 측정하였다. 그리고 조명마다 아스키 코드를 전송하여 수신기에서 확인하는 실험을 통하여 조명의 ID를 다양하게 부여할 수 있었다.

향후과제로는 현재 상용화된 LED 조명을 이용하여 실내 공간을 구현하고, 휴대용 광 태그를 제작하여 시각장애인을 위한 안내서비스 또는 실내 내비게이션으로 확대하도록 한다. 그리고 형광등과 같은 다른 조명이나 태양광의 간섭에 따른 성능 평가를 추가하여, 다양한 실내 공간에서도 위치를 파악할 수 있도록 한다.

## 참고문헌

[1] 강태규, 김유진, 박광로, “그린IT를 위한 LED응용 네트워크 조명 제어 기술 동향”, 정보통신연구진흥원, 주간기술동향 통권, 1406호, pp. 25-36, 2009.  
 [2] 김호진, 윤영준, 공인엽 “LED 기반 가시광 무선 통신을 이용한 자동차 안전 프로토콜 제안”, 대한임

베디드공학회, 2009.  
 [3] 강태규, 박광로, 손승원, “녹색성장 저탄소 가시광 무선통신 국내외 표준 동향 분석”, 한국통신학회지, 제 26권, 제 5호, pp. 43-49, 2009  
 [4] 김대호, 임상규, 강태규, “LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델”, 한국통신학회지, 제 26권, 제 5호, pp. 3-9, 2009  
 [5] 한국 고덴시 홈페이지  
<http://www.kodenshiau.com>  
 [6] 서울 반도체 홈페이지 <http://www.acriche.com>  
 [7] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원 “LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석”, 전자통신동향분석, 제 23권, 제 5호, 2008  
 [8] Visible Light Communications: Tutorials, IEEE 802.15 VLC SG, 2008.  
 [9] 정보통신 중점기술 표준화로드맵 Ver. 2008, 이동통신분야, 가시광 무선통신, pp. 410-426.  
 [10] 강태규, 이권호, 김대호, 임상규, “LED 조명을 이용한 유비쿼터스 가시광 무선통신 서비스”, 한국인터넷정보학회, 제 10권, 제 1호, pp. 85-92, 2009.  
 [11] 배태한, “IEEE 802.15.7 가시광 무선 통신 국제 표준 동향”, 가시광 무선통신 및 LED 융합 제어 세미나, 2009.  
 [12] 원은태, “VLC 표준화 동향”, 가시광 무선통신 및 LED 표준기술 세미나, 2010.  
 [13] 이성호, 민경욱, 김재철, 김주완, 박종현, “위치기반 서비스 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제 20권, 제 3호, 2005.  
 [14] 김병준, 이명성, 문승진, “Location based service 기반 플랫폼 분석 및 새로운 서비스 모델 연구”, 한국인터넷정보학회, pp. 105-108, 2009.  
 [15] Claire Boonstra, Guus van Knippenbergh, Sander Meijers, Paul Brackel, “Location Based Service on Mobile Internet”, 2008.  
 [16] Woo-Chan Kim, Chi-Sung Bae, Dong-Ho Cho, Hong-Seok Shin, D.K. Jung, and Y.J. Oh, “Efficient Resource Allocation Scheme for Visible-Light Communication System”, Broadband Access Communication Technologies III, Proc. of SPIE Volume 7234, pp. 72340M-72340M-9, 2009  
 [17] 장수영, “가시광 무선 통신의 기술 특징 분석”, 한국

- 통신학회지, 제 26권, 제 5호, pp. 15-22, 2009.
- [18] 김병준, 이명성, 문승진, “Location based service 기반 플랫폼 분석 및 새로운 서비스 모델 연구”, 한국인터넷정보학회, pp. 105-108, 2009.
- [19] Woo-Chan Kim, Chi-Sung Bae, Dong-Ho Cho, Hong-Seok Shin, D.K. Jung, and Y.J. Oh, “Efficient Resource Allocation Scheme for Visible-Light Communication System”, Broadband Access Communication Technologies III, Proc. of SPIE Volume 7234, pp. 72340M-72340M-9, 2009.
- [20] 장수영, “가시광 무선 통신의 기술 특징 분석”, 한국통신학회지, 제 26권, 제 5호, pp. 15-22, 2009.
- [21] 한국인 인체치수조사 홈페이지  
<http://sizekorea.kats.go.kr/>

### 저자소개



**공인엽(In-Yeup Kong)**

컴퓨터공학 공학석사  
컴퓨터공학 공학박사 (IPv6)  
인제대학교 PostDoc  
금오공과대학교 전임강사

※ 관심분야: RFID/USN, VLC, IPv6, Embedded Systems.



**김호진(Ho-Jin Kim)**

금오공과대학교  
전자공학 공학학사/공학석사  
(LED VLC)

※ 관심분야: VLC, LED, Microcontroller