

원격제어 및 Wi-Fi 서비스가 가능한 LED 가로 등 시스템 설계 및 구현

이 상 훈*, 신 수 용^o

Design and Implementation of LED Streetlight System for Remote Control and Wi-Fi Service

Sang Hoon Lee*, Soo Young Shin^o

요 약

LED 가로등의 수요가 증가하면서 LED 가로등의 효율성 제고 및 다양한 부가서비스를 위한 원격 제어 및 모니터링에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 기존의 가로등 원격 제어 시스템은 전력선 통신망을 이용하는 유선 방식이 주를 이루고 있고, 무선 연결 방식이 존재하나 전송 속도의 제약이 있어 단순 제어 및 모니터링 이외의 부가 서비스를 지원하기에는 어려운 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 무선랜 기반의 IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크를 LED 가로등의 원격 제어 및 모니터링의 백본 네트워크로 사용하는 시스템을 제안한다. 무선 메쉬 네트워크를 사용함으로써 LED 가로등의 원격 제어 및 모니터링과 동시에 LED 가로등이 공공 Wi-Fi 액세스 포인트의 역할을 수행하게 한다. 이를 위해 Wi-Fi 통합형 LED 가로등 컨트롤러를 설계하고 시스템을 구현하고 Test Bed를 구성하여 성능을 평가 하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 무선 메쉬를 활용하여 U-city의 인프라로의 역할 수행이 가능할 것으로 판단된다.

Key Words : Wireless Mesh, IEEE 802.11s, LED Streetlight, Monitoring Program, Remote Control

ABSTRACT

The demand of remote control and monitoring for efficiency and applications of LED streetlight is increasing continuously because the demand of LED streetlight was increase last few years. Existing street light remote control system is wired using a power line network. The wireless connection exists, but due to its low data transmission rate, it cannot support specialized applications. It can only support simple control and monitoring. In this paper, we propose a system that uses a IEEE 802.11s wireless mesh network based on WLAN, as a backbone network for remote control and monitoring of the LED street lights along with other specialized applications. Using the wireless mesh network for remote control and monitoring the LED street lights, the same can be used to act like a public Wi-Fi access point. We have designed Wi-Fi integrated LED streetlight controller and implemented our system. We evaluated the performance of our system on a real test bed. Our proposed system is expected to perform the role of a U-city infrastructure by utilizing the wireless mesh network.

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 글로벌 IT 인재활용 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0904-14-1005)

• First Author : Kumoh National Institute of Technology IT Convergence Engineering, sanghoon@kumoh.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology Electronic Engineering professor, wdragon@kumoh.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2014-10-442, Received October 31, 2014; Revised January 8, 2015; Accepted January 8, 2015

I. 서 론

최근 에너지 절감 관점에서 LED 가로등의 보급이 지속적으로 증가하고 있다. 또한 원격으로 LED 가로등의 상태를 모니터링하고 제어함으로써 에너지 효율성을 극대화하기 위한 다양한 연구 및 개발이 이루어져왔다¹⁾. 기존의 LED 가로등 원격 제어 시스템의 대부분은 전력선과 같은 유선방식을 활용하여 관제실과 연결하는 방식이었다^{2,3)}. 이러한 유선 방식의 경우 LED 가로등의 전체 설계에 따라 호환성 문제로 인하여 모니터링, 제어 및 유지 관리에 한계가 있다. 또한 ZigBee 또는 기타 RF 기술을 이용한 무선 연결 방식이 존재하나^{4,5)} 이 경우 전송 속도의 제약으로 인해 LED 가로등 단순 제어 및 모니터링 이외의 다른 기능 지원이 어렵다.

최근에는 LED 가로등의 경우에도 조도센서, 인체감지센서, IT기술 등을 활용하여 단순한 절전만이 아닌 방법 효과를 추가하는 등 스마트 조명으로 변모하고 있다. 따라서 향후 LED 가로등은 단순한 조명의 역할 뿐만 아니라 다양한 융/복합 서비스를 가능하게 하는 차세대 조명으로써 새로운 부가가치의 창출이 가능할 것으로 판단된다⁶⁾.

이러한 다양한 융/복합 서비스를 제공하기 위해서는 기존의 전력선 또는 저속 무선 통신망을 통해서 제공되는 대역폭만으로는 한계가 있다. 이러한 문제점들을 해결 하고자 본 논문에서는 무선 메시 네트워크를 LED 가로등의 원격 제어 및 모니터링으로 사용하는 LED 가로등 원격 제어 시스템을 제안한다. 무선 메시 네트워크 기술을 이용함으로써 에너지 절감형 LED 가로등 시스템의 구축이 가능할 것이고 U-city의 인프라로서 활용함과 동시에 기존 통신망보다 충분한 대역폭을 제공함으로써 다양한 무선 서비스를 제공할 수 있는 솔루션을 확보할 수 있다. 또한 기존의 3G/4G 시스템 및 Wi-Fi와의 연동을 통해 스마트폰 앱을 이용한 관리자 원격 모니터링 및 원격 제어 솔루션의 확보가 가능하다. LED 가로등을 위한 부가서비스의 예로 본 논문에서는 각각의 LED 가로등이 무선 메시 네트워크를 백본으로 사용한 공공 Wi-Fi 액세스 포인트의 역할을 수행할 수 있도록 하는 것을 제안한다.

다음 장에서는 무선 메시 네트워크에 대해 설명하고, 3장에서는 무선 메시 네트워크 및 Wi-Fi 통합형 LED 가로등 컨트롤러 구현과 원격 제어와 모니터링을 위한 GUI 기반 관리 솔루션과 스마트폰 앱 구현을 설명한다. 4장에서는 무선 메시 네트워크 Test Bed의 구성과 성능평가에 대해 다룰 것이다. 5장에서는 결론

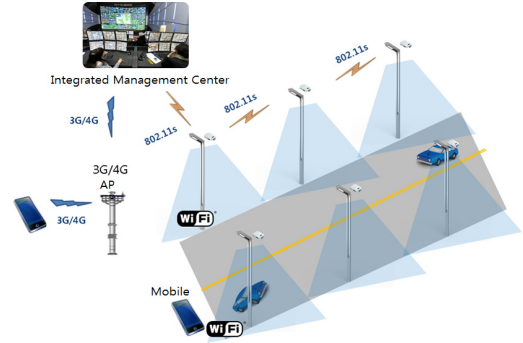


그림 1. 원격제어 및 Wi-Fi 서비스가 가능한 LED 가로등 시스템 개요
Fig. 1. Summary of LED streetlight system that supports remote control and Wi-Fi service

으로 끝을 맺는다.

II. 무선 메시 네트워크

무선 메시 네트워크는 고전적인 네트워크 기술 패러다임인 기지국 기반에서 블루투스나 같이 유연성을 가진 애드 혹 (Ad-hoc) 네트워크로 변화되는 과정에서 도출되었다. 메시 네트워크의 출발은 미국 군사기술을 민간용으로 전환한 것으로, 무선 메시 네트워크 기능을 탑재한 무선 LAN AP는 전원연결만 되면 네트워킹이 가능하기 때문에 설치가 편리하고, 유선망과의 연결이 없이도 망 확장이 용이하다. IEEE 802.11b의 2.4GHz 대역에서 사용할 경우 약 1.5km범위에서 2Mbps 정도의 통신이 가능하고 시속 400km까지의 이동통신에서도 이용이 가능한 것으로 확인 되었다^{6,7)}. 도시, 공장, 학교, 기차, 통신망, 경찰, 소방 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며 주로 실외를 대상으로 넓은 지역을 커버하는 형태의 서비스를 제공한다^{8,9)}.

최근 행정서비스의 질적 향상과 업무 효율화를 위해 주요시 및 행정부에서 공공 서비스를 위한 무선 자가망 구축을 고려하고 있으며, 일부에서는 시범서비스가 진행되고 있다. 자가망 구축을 위해 무선LAN 기반의 메시 네트워크 기술이 해외 사례를 통해 수집되고 있으며 기상청의 일기예보용 시스템과 같이 USN (Ubiquitous Sensor Network) 기술과 접목되어 다양한 센서 정보를 수집·가공하는 목적으로 이용하는 움직임도 있다⁷⁾.

무선 메시 네트워크 관련 표준은 네트워크 규모에 따라 다르다. 지역망을 위한 무선 메시 네트워크의 대표적인 표준은 IEEE 802.11s¹⁰⁾이며 이 기술은 IEEE 802.11 기반 네트워크를 확장될 수 있는 기술표준이

다. IEEE 802.11s는 IEEE 802.11 표준^[11]에 메쉬 네트워크 기술을 도입하기 위한 표준이다. IEEE 802.11s에서는 다중 홉 토폴로지에서 무선 노드들이 자동으로 네트워크를 구성하기 위한 기능을 가지고 있으며, 브로드캐스트, 멀티캐스트 및 유니캐스트를 지원하도록 정의하고 있다^[12]. 따라서 본 논문에서는 공공 Wi-Fi서비스 지원을 목표로 가장 적합한 표준 기술인 IEEE 802.11s를 무선 메쉬 네트워크로 사용하기로 한다^[13].

III. 설계 및 구현

3장에서는 무선 메쉬 네트워크 및 Wi-Fi 통합형 LED 가로등 컨트롤러를 설계하고 구현 하였다. 또한 원격 제어와 모니터링을 위한 GUI 기반 관리 솔루션과 스마트폰 앱을 구현하였다. 3.1은 무선 메쉬 네트워크 기술 개발에 대한 내용이고 3.2는 LED 가로등 컨트롤러의 하드웨어 설계에 대한 내용이다. 그 다음 3.3은 GUI 기반 관리 솔루션과 스마트폰 앱 구현에 관한 내용이다.

3.1 무선 메쉬 네트워크 기술 개발

무선 메쉬 라우터는 최소 메쉬 네트워크용 Wi-Fi카드와 Wi-Fi 액세스 포인트 용 Wi-Fi 카드를 위해 최소 2개 이상의 miniPCI 슬롯 및 처리 용량 보유하여야 하고, IEEE 802.11s 프로토콜을 지원하여야 한다. 이러한 기준을 바탕으로 Gateworks사의 Laguna GW2388-4을 대상 플랫폼으로 선정하였다. Development Kit으로는 Laguna GW2388-4 Dev Kit을 선정하였다^[14]. miniPCI-Card는 Wistron CM9와 Wistron DNMA-92를 선정하였다.

무선 메쉬 네트워크 구축을 위해 가장 많이 사용되는 오픈 소스 프로젝트의 하나인 OpenWRT를 이용하였다^[15]. OpenWRT는 게이트웨이 등의 임베디드 시스템용 펌웨어로 개발된 Linux 배포판으로서 유무선 공유기 회사 제품에 적용될 정도로 지속적으로 발전해 왔다. 시스템이 안정적이며, 뛰어난 패키지 관리 및 쉬운 개발 환경 툴을 제공하며, 문서화 및 커뮤니티 지원 등이 잘 되어 있다.

선정한 장비를 활용하여 그림 4와 같이 무선 메쉬 네트워크 환경을 구성하였다. 그림 4에서 Board1과 Board3에는 AP와 메쉬가 Relay Bridge로 연결되어 설치되어있고 Board2는 메쉬만 설치되어 있다. 만약 Board1에서 Board3으로 데이터를 보낸다면 Board2를 통해서 Board3으로 전달된다.

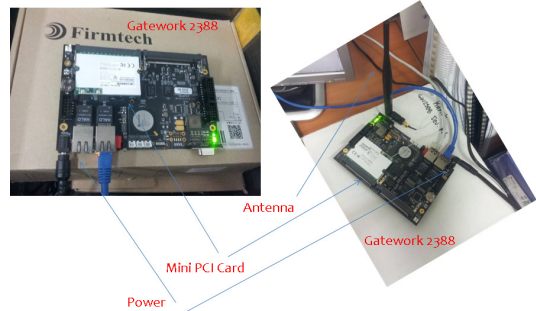


그림 2. Gateworks Laguna GW2388-4 플랫폼
Fig. 2. Gateworks Laguna GW2388-4 platform

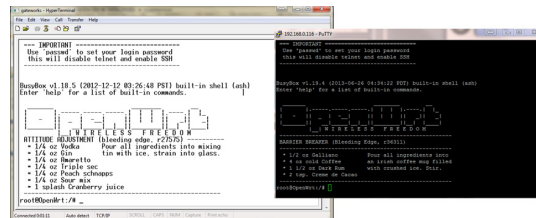


그림 3. OpenWRT
Fig. 3. OpenWRT

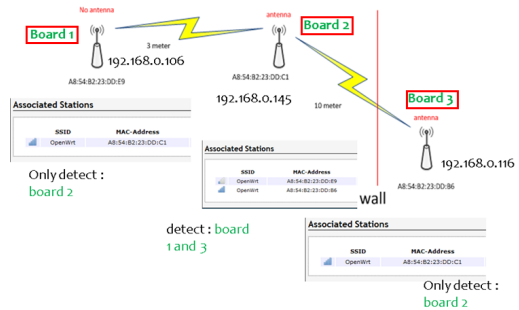


그림 4. 무선 메쉬 네트워크 환경 구성
Fig. 4. Configure the wireless mesh network environment

3.2 Wi-Fi 통합형 LED 가로등 컨트롤러 HW 설계 및 구현

본 논문에서 구현한 LED 가로등 컨트롤러는 LED 가로등을 제어하는 제어부분, LED 가로등의 상태를 감시하는 센서부분, 통신을 담당하는 Wi-Fi부분으로 나뉜다. Wi-Fi module은 UART to Wi-Fi를 지원하는 Whiznet사의 Wi-Fi module을 보드에 탑재하여 사용하였다. LED 가로등 컨트롤러는 TI사의 Cortex M3 기반의 LM3S9D96 MCU를 사용하였다. 그림 5은 설계한 LED 가로등 컨트롤러 하드웨어 회로도이고, 그림 6은 거버넌스이다. 그림 7은 구현되어진 LED 가로등 컨트롤러의 사진이다. 입출력 인터페이스

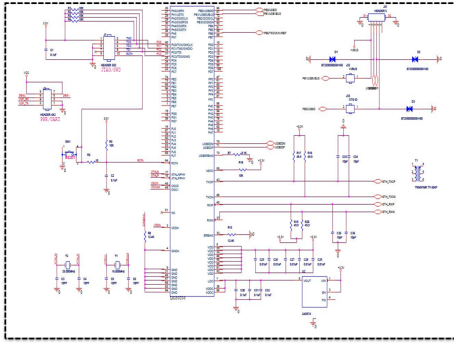


그림 5. LED 가로등 컨트롤러 H/W 회로도
Fig. 5. LED streetlight controller H / W circuit

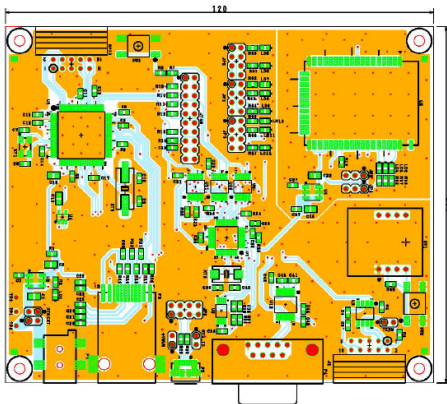


그림 6. LED 가로등 컨트롤러 H/W 거버파일
Fig. 6. LED streetlight controller H / W gerber file

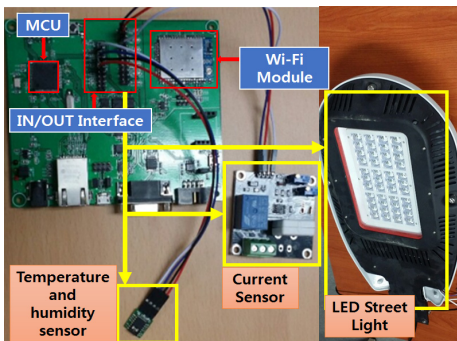


그림 7. LED 가로등 컨트롤러
Fig. 7. LED streetlight controller

스를 통해 연결된 LED 가로등과 각종 센서를 연결하고, LED 가로등을 제어하고 상태를 모니터링한다.

3.3 원격 제어 및 모니터링을 위한 GUI 기반 관리 솔루션 및 앱 개발

LED 가로등 원격 제어 및 모니터링 시스템은 무선

네트워크 기반으로 LED 가로등의 실시간 상태정보를 관제 시스템 서버로 전송하고, 상태 정보를 이용하여 원격 제어 및 모니터링을 수행 하는 시스템이다. 현장 관리 시스템은 모바일 단말기를 통해 LED 가로등의 상태정보를 실시간으로 수신하며, 동작 상태에 대한 체크를 현장에서 할 수 있도록 지원 한다.

3.3.1 통합 관제 시스템

통합관제 시스템에서 LED 가로등의 위치는 지도를 이용하여 시각적으로 표시하였다. LED 가로등의 동작 이상 유무를 확인하기 위해 LED 가로등의 모듈과 실시간 네트워크 통신을 한다. 이를 통해 그림 8와 같이 LED 가로등의 상태정보를 관제 시스템 사용자가 실시간으로 모니터링 가능하고, 또한 Google-Map을 이용한 가로등 위치표시를 제공함으로써 위치기반의 모니터링 및 현장 출동 시 명확한 위치를 제공할 수 있다.

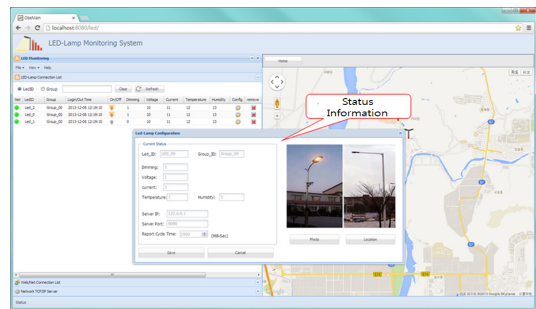


그림 8. 통합 관제 시스템 서버 프로그램
Fig. 8. Integrated control system server program

3.3.2 네트워크 통신/프로토콜

가로등과 통합 미들웨어 서버는 TCP/IP 기반의 네트워크 연결을 통한 통신 프로토콜 지원하고 있다. 메시지는 LED 가로등 상태/알림 정보 전달 Message와 가로등 제어 명령 전달 Message로 나뉘지며 통신 메시지 포맷은 그림 9와 같다.

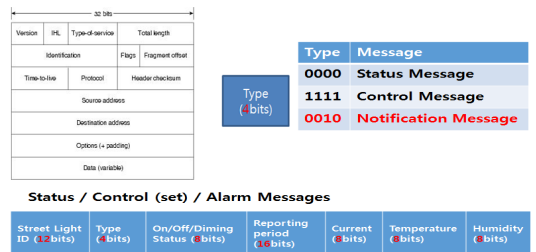


그림 9. 통신 메시지 포맷
Fig. 9. Communication message format

그림 10을 바탕으로 메시지 전달을 설명하면, Status Message는 LED 가로등의 상태 정보(모듈 일련번호, Lamp 점멸 상태, 이상유무 보고)를 포함하여 전송한다. Control Message는 LED 가로등의 상태 보고 주기(시간) 단위 설정과 가로등 점멸(On/Off) 명령을 포함 한다. Alert Message는 Control Message에 의해 전류/온도/습도 알람 설정 이후, 이상이 발생하면 메시지를 전송한다.

Registration은 LED 가로등 설치 공사 후 신규 관리 가로등 등록과 Mobile 기기의 GPS 위치 정보 기반 가로등 시설 신규 등록을 포함 하고 있다. Configuration은 LED 상태 보고 주기(시간) 단위 설정 및 제어 동작 여부 테스트를 포함하고 있다.

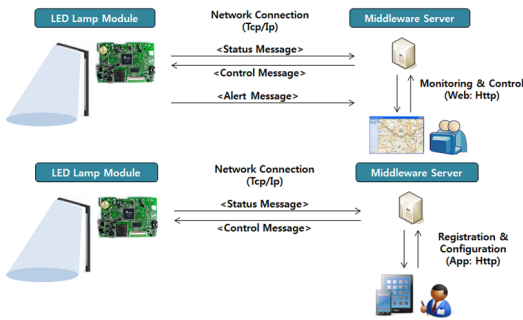


그림 10. 통신 메시지 전달 체계
Fig. 10. Communication messaging system

3.3.3 현장작업자용 모바일 앱

현장 작업자용 모바일 앱은 신규 LED 가로등의 현장 등록을 지원하고, 모바일 현재 위치 기반 신규 등록 및 설정 지원과 가로등 동작여부 테스트를 지원 하도록 되어 있다. 앱을 실행하면 사용자 로그인 화면을 접하게 되고 로그인 후 신규 가로등 등록 및 기존 설치된 가로등의 조회를 위한 코드조회, 그리고 위치기반의 가로등 조회를 위해 지도보기의 메뉴를 메인으



그림 11. 현장작업자용 모바일 앱
Fig. 11. Mobile application for field workers

로 제공하고 있다.

IV. 무선 메쉬 네트워크 Test Bed 구성 및 성능평가

4.1 메쉬 네트워크 성능 테스트

그림 12는 메쉬 네트워크의 성능을 테스트하기 위한 구성도이다. 성능 테스트 장비는 노트북 2대, GW2388-4 2대 (1 hop 메쉬 구성), miniPCI 무선랜 카드 4장으로 구성되어있다. 그 결과는 그림 13과 같이 약 35Mbps의 성능을 보인다.



그림 12. 메쉬 네트워크 성능 테스트 구성도
Fig. 12. Mesh networks performance test diagram

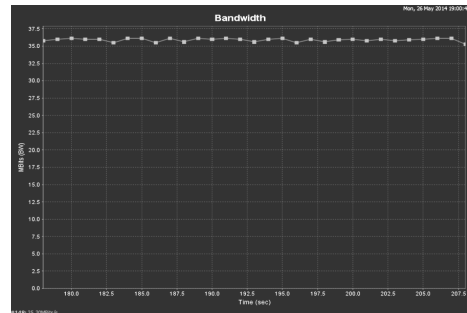


그림 13. 메쉬 네트워크 성능 테스트 결과
Fig. 13. Mesh network performance test result

4.2 통합 Test Bed

그림 14는 통합 Test Bed 구축도이다. 통합 Test Bed는 노트북 2대 (서버1대, 무선 메쉬 네트워크 설정용 1대, GW2388-4 4대 (3 hop 메쉬 구성),

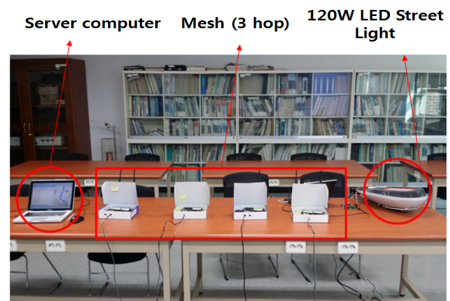


그림 14. 통합 Test Bed
Fig. 14. Integrated test bed

miniPCI 무선랜카드 6장, LED 가로등 컨트롤러 1대, LED 가로등 1대 (120 Watt)로 구성되어있다. 통합 Test Bed에서는 서버 컴퓨터를 사용하여 무선으로 연결된 LED 가로등을 제어하고 모니터링 한다.

4.3 성능 평가

그림 15는 IEEE 802.11s 전송속도와 IEEE 802.11s 전송거리 그리고 Wi-Fi 전송속도 이 3가지 항목에 대해 공인 인증 시험 기관에 의뢰하여 성능을 평가한 시험 성적서다. IEEE 802.11s 전송속도 시험은 1m 거리에서 메쉬 네트워크 간 최대 전송 속도를 측정하는 것으로, 결과는 평균 35.16Mbps이다. IEEE 802.11s 전송거리 시험은 80m 거리에서 메쉬 네트워크 간 패킷 전송 테스트를 한 것으로, 1000개의 패킷 중 평균 998.6개의 패킷이 성공적으로 전송되었다. Wi-Fi 전송속도를 시험은 1m 거리에서 AP 간 최대 전송 속도를 측정하는 것으로, 결과는 평균 49.58Mbps로 나왔다.

는 LED 가로등 원격 제어 및 상태 모니터링 시스템을 제안하였다. IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크를 이용하여 기존의 단순한 LED 가로등의 원격 제어 및 상태 모니터링 외에도 무선 메쉬 네트워크를 백본으로 사용한 공공 Wi-Fi 서비스를 제공할 수 있는 새로운 LED 가로등 시스템을 설계하고 구현하였다. LED 가로등 원격 제어 및 상태 모니터링 시스템은 LED 가로등, 무선 메쉬 네트워크, 가로등 원격 제어 및 모니터링용 제어기, 원격지 서버 프로그램 및 작업자용 스마트폰 앱으로 구성되어 있다. 구현한 시스템의 성능을 검증하기 위해 Test Bed를 구성하였고, 자체 성능 평가 및 공인 인증 시험 기관의 그 성능을 입증하였다. 본 논문에서 제안된 방식의 주요 성능지표는 표 1과 같이 정리할 수 있다.

구현한 시스템은 LED 가로등의 원격 제어 및 모니터링과 동시에 무선 메쉬 네트워크를 U-city의 인프라로 활용할 수 있다는 점에서 기술적으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

표 1. 주요 성능 지표
Table 1. Performance Indexes

Performance Indexes	Unit	Target	Attainment
1. IEEE 802.11s Transmission speed	Mbps	More than 30	More than 35
2. IEEE 802.11s Transmission Distance	m	More than 80	More than 80
3. Wi-Fi Transmission speed	Mbps	More than 30	More than 49
4. WLAN Number of Ports	Count	More than 1	2
5. Number of remote control streetlights	Count	More than 50	1024
6. GUI Based Remote Control	Count	More than 1	1
7. Smartphone Remote Application	Count	More than 1	1

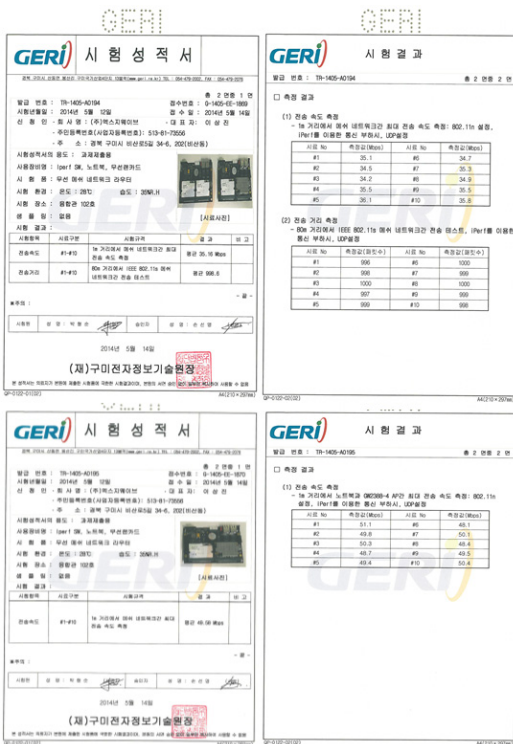


그림 15. 성능평가 시험 성적서
Fig. 15. Performance test report

V. 결론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크를 기반으로 하

References

[1] J. H. Nam, *LED Smart Lighting Industry and Market Trends(2014)*, Retrieved Aug. 10, 2014, from <http://www.displaycenter.or.kr/>.

[2] AS Tasu, Programmable logic controller, *Rom. J. Phys.*, vol. 51, no. 1-2, pp. 305-310, Dec. 2006.

[3] C.-G. In and C.-H. Lin, "A development of

multi-sensors LED streetlight lighting control system based on RTOS,” *J. KICS*, vol. 37C, no. 11, pp. 1020-1026, Nov. 2012.

- [4] Y. U. Lee and J. Park, “Realization of hybrid localization system with lighting LEDs and ad-hoc wireless network,” *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 774-783, Sept. 2012.
- [5] K. Kim and K. Ham, “A design of heat-sink and DMX512 communication control for high-power LEDs,” *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 725-732, Aug. 2013.
- [6] M. H. Lee, *Mesh Network Technology Trends and Applications (2007)*, Retrieved Mar. 11, 2014, from <http://coinz.tistory.com/m/post/10>.
- [7] Y. R. Lee, *The Core Infrastructure of Future u Community-Wireless Mesh Network(2007)*, Retrieved Jan. 10, 2014, from <http://www.etnews.com /200710100110>.
- [8] Y. I. Seo, *Wireless Mesh Network (2006)*, Retrieved Jan. 15, 2014, from <http://blog.naver.com/dalma37/90003683252>.
- [9] I. F. Akyildiz and X. Wang, “A survey on wireless mesh networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 9, pp. S23-S30, Sept. 2005.
- [10] IEEE, *Draft amendment for mesh networking*, IEEE 802.11s Draft 1.06, Jul. 2007.
- [11] IEEE, *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements*, IEEE 802.11, 2007.
- [12] J.-S. Kim, S.-H. Chung, and H.-J. Choi, “Implementation of a mesh router supporting multi-path routing based on IEEE 802.11s,” *J. KICS*, vol. 36, no. 12, pp. 950-958, Dec. 2011.
- [13] Wildpackets, *Cool New WLAN Technologies on the Market(2013)*, Retrieved Apr. 15, 2014, <http://blog.wildpackets.com/tag/802-11s>.
- [14] Gateworks Corporation, *LAGUNA NETWORK COMPUTER Operating Manual For GW2388 Network Processor(2011)*, Retrieved Apr. 17, 2014, from <http://www.gateworks.com/>.
- [15] Openwrt.org, *About OpenWrt(2014)*, Retrieved Mar. 06, 2014, from <http://wiki.openwrt.nanli.d>

[e/about/start#what.is.openwrt](http://openwrt.org/about/start#what.is.openwrt).

이 상 훈 (Sang Hoon Lee)



2013년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 졸업
 2013년 2월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 석사과정
 <관심분야> 무선통신, 산업용통신망, 실시간시스템

신 수 용 (Soo Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
 2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 2006년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 2010년~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
 <관심분야> 무선통신, WLAN/WPAN/WBAN, 3G/4G, 산업용통신망, 실시간시스템, etc