

RF 네트워크 기반 보안등 양방향 제어 시스템에 관한 연구

(A Study on RF Network-Based Guard Light System with Bidirectional Control)

최정원* · 이호근 · 오득환

(Jeong-Won Choi · Ho-Geun Lee · Duk-Hwan Oh)

Abstract

In this paper, Completely beyond the existing conventional Guard Light management system, introduced the 447Mhz band wireless sensor network Guard Light to manage efficiently the shape of the new system is proposed. In addition, about wireless sensor network technology, control server technology, application layer protocol technology etc which is core technology for the proposed system configuration, it was verified by the design and experiment. Especially studying wireless Guard Light System(about 1,700 node configuration) commercially installed in the Daegu area as a results of the study, I would like to prove the effectiveness of the study.

Key Words : Guard Light System, GIS(Geographic Information System), RF Network

1. 서 론

보안등은 야간 보안을 담당하는 중요 전기 설비로서, 차량도로의 조명을 목적으로 하는 가로등과는 달리 야간 보행자의 안전 및 범죄 방지에 사용되는 전기 조명 시설물의 일종이다. 이러한 보안등은 옥외 환경에 설치되기 때문에 사람에 의한 고의적인 훼손, 타설비 설치/보수시의 파급 고장, 자연 열화 등으로 인하여 잦은 장애가 발생하고 있으며, 사고 사례가 매년 유

사하게 발생하고 있다[1]. 보안등의 설치 및 유지보수는 구청 또는 군청 단위의 지자체 관공서가 맡고 있으나, 실제로 지자체의 생활민원의 상당 부분이 보안등 관련 민원이라는 사실은 현행 보안등 유지보수 체계가 갖고 있는 한계점 및 지자체의 애로사항을 보여주고 있다.

한편 보안등은 조명 장치인 램프와 램프를 제어하기 위한 점멸 장치로 구성되어 있는데, 첨단기술의 발달과 함께 램프 자체는 물론 점멸장치에 있어서도 비약적인 발전을 거듭해왔다. 특히 점멸장치의 경우 최근의 무선통신기술을 접목하여 자동으로 점·소등되는 점멸기가 운용상 편리성 및 안정성을 이유로 시범적으로 설치되고 있다. 특히 최근 3~4년 전부터는 신도시에 설치되는 U-City 구축과 더불어 가로등 및 보안등 관제 시스템을 무선 방식으로 변경하려는 요구 사항이 더욱 늘어나고 있는 추세이다. 이는 기존 보안등

* 주(교신)저자 : 영남이공대학교 전기자동화과
* Main(Corresponding) author : Department of
Automation Electrical Engineering,
Yeungnam college of science &
technology
Tel : 053-650-9267, Fax : 053-624-4736
E-mail : choijw@ync.ac.kr
접수일자 : 2012년 11월 12일
1차심사 : 2012년 11월 14일
심사완료 : 2012년 12월 10일

유지 보수 체계의 한계점을 극복하려는 시도로 해석된다[2].

무선 방식의 보안등 점멸장치를 구현하기 위한 방식은 여러 가지가 있을 수 있으나, RF 통신을 이용한 소규모 센서 네트워크 응용을 사용하는 것이 가장 효율적이라 할 수 있다. 현재 무선 센서 네트워크를 구축함에 있어 가장 널리 사용되고 있는 무선 통신 기술은 지그비(Zigbee) 기술이다[3]. 그러나 지그비의 경우 도심지의 보안등과 같이 각 무선 노드가 일직선상에 위치하지 않아 LOS (Line of Sight) 가 확보되지 않는 지역에서는 원활하게 네트워크가 형성되지 않는 단점을 가지고 있다. 이는 지그비 기술이 주로 사용하는 물리 계층인 2.4GHz 대역의 RF 특성에 기인한 것으로 전파의 직진성이 높아 장애물이 많은 지역에서는 원하는 목적지까지 전파가 도달하지 않게 되기 때문이다[4]. 본 연구에서 이러한 문제점을 해결하기 위해 447MHz 주파수 대역의 RF를 사용하여 2.4GHz 대역 RF의 물리적 한계를 극복하였으며, 447MHz 대역에 적합한 무선 통신 프로토콜을 개발하였다[2,4].

본 논문에서는 기존의 재래식 보안등 관리 방식을 완전히 탈피하여 효율적으로 보안등을 관리하기 위한 시스템의 형상을 제안하는 한편, 제안하는 시스템을 구성하기 위한 핵심적 기술인 무선 센서 네트워크 기술, 관제 서버 기술, 응용 계층 프로토콜 기술 등에 관한 연구 결과를 소개한다. 특히 본 연구의 결과물로 상용화가 진행되어 대구광역시 지역에 설치된 무선 보안등 시스템(약 1700여대의 노드로 구성)을 통하여 본 연구의 효용성을 입증하고자 한다.

2. 시스템 구성

제안하는 보안등 관제 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 관리자가 사무실에서 원격지에 있는 보안등들을 관리하기 위하여 관제 서버로 접속한다. 관제 서버는 IP 네트워크를 이용한다. 무선 보안등들은 RF 통신을 사용하여 센서 네트워크를 구성하는데, 이들 센서 네트워크와 관제 서버를 연결하기 위하여 가운데 중계기가 위치하게 된다. 중계기는 센서 네트워크를 통하여 자신에게 연결된 모든 보안등 노드들을 관리하

며, 중계기가 가지고 있는 정보들은 CDMA 데이터 통신을 이용하여 IP 네트워크로 전달된다.

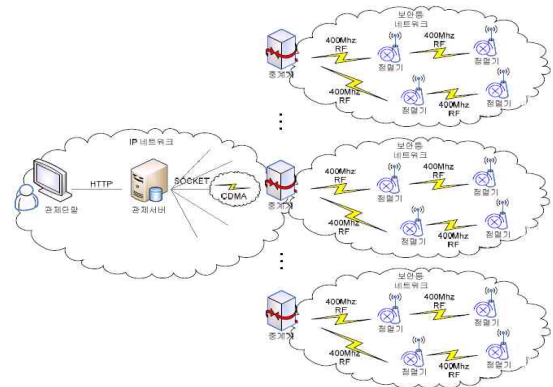


그림 1. 보안등 관제 시스템 구성도
Fig. 1. Security Light Control System Configuration

본 연구에서는 그림 1에 표현된 형상들을 설계하고 구현하였다. 보안등 점멸기 및 중계기는 임베디드 시스템의 형태로, 하드웨어의 설계/제작에서부터 디바이스 드라이버 및 응용 소프트웨어를 구현하였다. 특히 보안등 점멸기와 중계기 간의 무선네트워크를 구성하기 위한 MAC(Media Access Control) 프로토콜과 라우팅 프로토콜을 설계/구현 하였으며, 관제 서버에서 중계기를 통하여 각 보안등 점멸기들을 제어하기 위한 응용 계층 프로토콜을 설계하고 구현하였다. 본 연구에서 사용된 응용 계층 프로토콜은 현재 한국정보통신기술협회에서 표준화가 진행 중이다[5]. 다음 장에서는 본 연구에서 연구하고 구현한 내용들을 상세히 기술하도록 한다.

3. 보안등 시스템 하드웨어 형상

양방향 무선보안등점멸기는 기존의 일반 전자식보안등점멸기와 기본 기능은 동일하지만, 중계기와 무선 통신 또는 이웃 보안등점멸기와의 무선통신 및 라우팅을 위해서 추가적으로 RF 통신칩 및 RF 프로토콜 S/W가 추가적으로 내장되어 있다.

CPU 블록에서 된 CPU는 AVR사의 ATmega128을 사용하였다. 무선보안등점멸기 블록에서는 RF Routing관련 테이블 동적 테이블 관리를 위하여

32KB의 별도의 SRAM 메모리를 확장하여 사용하였다. RF Module에서 사용한 RF 칩은 TI사의 CC1020 칩을 사용하였다. CC1020 RF 칩은 447MHz 대역, 868MHz 대역, 915MHz 대역의 다양한 ISM밴드를 사용할 수 있는 칩으로서 특히 국내 실정에 적합한 447MHz 대역의 협대역 시스템을 만족하는 RF 칩이다[6]. 기타 주요 기능으로는 시간 동기 설정을 위한 RTC블록, 보안등 유지 보수를 위하여 누전감지 회로, 상태 LED, 문 열림 감지회로, 정전감지, 배터리 전압 측정, 보안등 전류 측정 등을 위한 블록으로 구성되어 있다. 무선 보안등 중계기는 보안등 점멸기로부터 제어 및 유지 보수에 관련된 각종 메시지를 주고받는 역할을 수행하며 더불어 외부 IP망으로 관제 서버에 무선보안등점멸기의 상태 및 중계기 자신의 상태에 관

련된 메시지를 보고 또는 지시를 받는다. 보안등중계기 통신 네트워크는 두 개로 나누어지며, CDMA통신 모듈을 통한 외부 IP 네트워크와 447MHz 대역의 RF 보안등 네트워크로 구성이 된다.

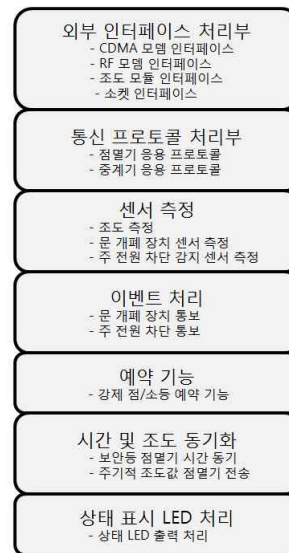


그림 4. 무선 중계기 응용 S/W 구조
Fig. 4. Application software of Wireless repeater

이러한 통신 기능을 수행하기 위해서 중계기는 IP 네트워크 처리하기 위해 TCP/IP 스택의 성능까지 요구가 되며, 보안등 점멸기의 유지 보수에 관련된 각종 상태 테이블 정보를 관리하기 위하여 32비트급의 임베디드 프로세서를 사용한다. 그림 3은 무선 보안등 중계기의 전체 하드웨어 블록도를 나타내며, 그림 4는 보안등 중계기 응용 S/W 블록으로서 외부인터페이스 처리부, 통신프로토콜 처리부, 센서측정, 이벤트 처리, 예약기능, 시간 및 조도 동기화, 상태 표시 LED 블록으로 나누어지며 정의 되었다.

4. RF 프로토콜 설계

무선 보안등 시스템은 447MHz 대역의 ISM밴드 대역을 사용하고 있으며, 이 주파수 영역은 무선국 허가 없이 10mW의 송신 전력으로 전파를 송수신할 수 있

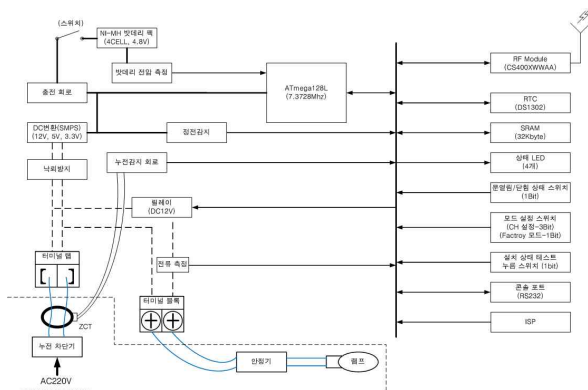


그림 2. 보안등 점멸기 하드웨어 블록도
Fig. 2. Hardware Block diagram of Security Light Control System

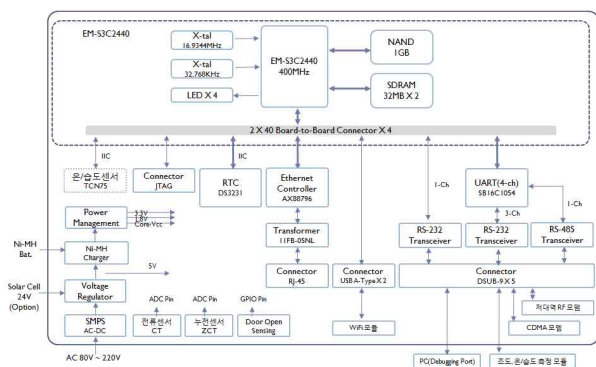


그림 3. 무선 중계기의 전체 블록도
Fig. 3. Block diagram of Wireless repeater

다. 본 논문에서는 이러한 전파 규격 조건을 만족하면서 통신을 하기 위해서 TI 사의 CC1020 RF 칩셋을 사용하여 RF 모뎀을 구성하였으며, 송신 출력을 10mW로 제한하면서 원거리 통신을 위하여, 무선 보안등 접멀기에 라우팅이 가능하도록 RF MAC과 Routing을 구현하였다.



그림 5. RF 프로토콜 SW 스택
Fig. 5. RF protocol S/W stack

본 연구에서는 실외 환경에서의 가변적인 링크 특성 등을 고려하여 보안등 네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜을 설계/구현하였다. 그림 5는 RF 통신을 위한 S/W 프로토콜 스택을 보여준다. 물리 계층인 CC1020을 제어하기 위한 디바이스 드라이버를 구현하고, 그 위에 MAC 프로토콜 스택과 라우팅 프로토콜을 구현하였다.

그림 6은 RF통신에 사용된 MAC 프로토콜의 프레임 포맷을 도식화한 것이다. 우선 물리 계층의 바이트 스트림으로부터 유효한 MAC 패킷을 파싱하기 위해 3바이트의 프리앰블과 2바이트의 싱크 워드를 사용한다. 또한 방송통신위원회 고시 RF 규격에서 명시한 협대역 스펙인 12.5kHz의 채널 간격, 8.5kHz의 대역폭을 만족하기 위해서, 본 프로토콜에서 지원하는 최대 페이로드 길이는 127 바이트로 제한하여 구성을 하였다.

사용된 CC1020의 경우 소량 데이터를 전송하기 위한 개발된 모뎀칩의 특성으로 RF 칩 내부에 데이터 버퍼가 없고, 자동 ACK 등을 지원하지 않으므로, CC1020의 의존성을 고려하여 설계된 RF 수신부의 S/W블럭 상태 천이도는 그림 7과 같다.

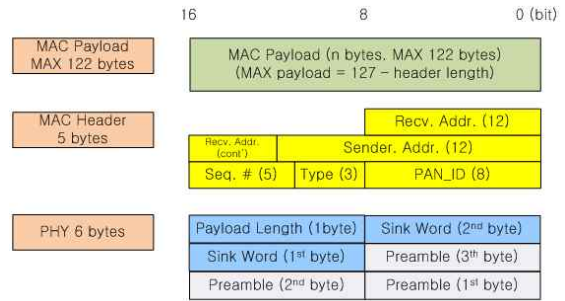


그림 6. CC120 RF MAC 패킷 프레임 구조
Fig. 6. Structure of CC120 RF MAC packet frame

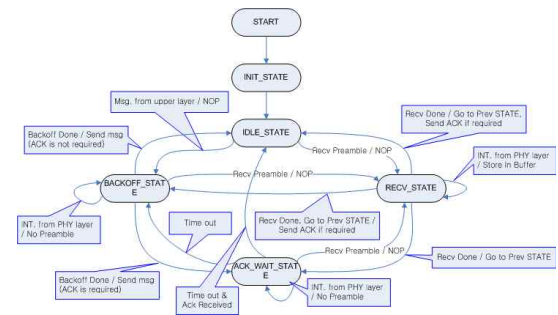


그림 7. RF 수신 상태 천이도
Fig. 7. RF Receiver State diagram

라우팅 프로토콜은 3-way-handshake 메커니즘을 적용한 무선보안등 네트워크에서 상/하향 데이터를 목적지까지 성공적으로 전송하기 위한 경로 설정 방법 및 형성된 경로를 유지 관리하는 방법에 관한 프로토콜이다[7].

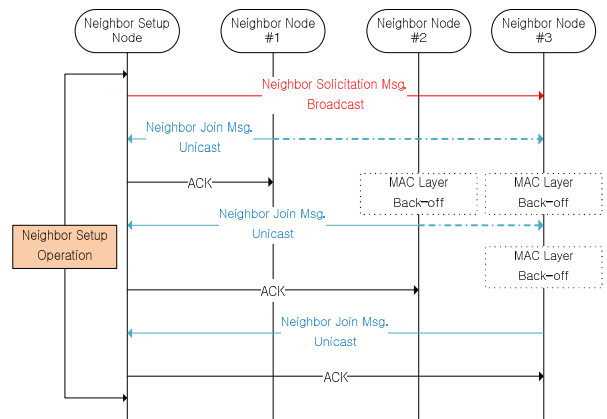


그림 8. 3-way-handshake 메커니즘
Fig. 8. Mechanism of 3-way-handshake

제안하는 라우팅 프로토콜에서 주요한 특징 중 하나는 네트워크 경로 형성 과정에서 양방향 링크가 형성된 경로를 선택하여 사용한다는 점이다. 본 연구 과제 수행 도중 실외 환경에서 링크 연결 테스트 결과 순방향의 통신이 가능하다고 해서 반드시 역방향의 통신에 대해서 보장 해주지 않음을 확인 하였다. 즉 두 노드 A-B 사이에 데이터 통신 실험을 할 경우 A에서 B로의 통신은 가능하나 B에서 A로의 통신은 불가능한 경우가 발생한다. 기존에 발표된 많은 센서 네트워크 라우팅 관련 논문에서는 양방향 링크를 가정하고 프로토콜을 설계하는 경우가 많았으나, 실제 환경에서는 적합하지 않다는 것을 실험을 통해 검증하였다. 따라서 본 연구에서는 Neighbor Setup Operation 과정을 수행하여 3-way-handshake (Request - Reply-MAC 계층의 ACK) 방식으로 쌍방향 링크 형성을 확인하여 보다 더 신뢰성 있는 경로 선택을 확인할 수 있었다.

5. RF 통신 실험

본 장의 실험은 지면의 제한으로 CC1020 RF 칩의 물리계층 실험과, MAC 및 Routing 프로토콜의 일부 중요 성능 시험으로 제한하여 기술하였다.

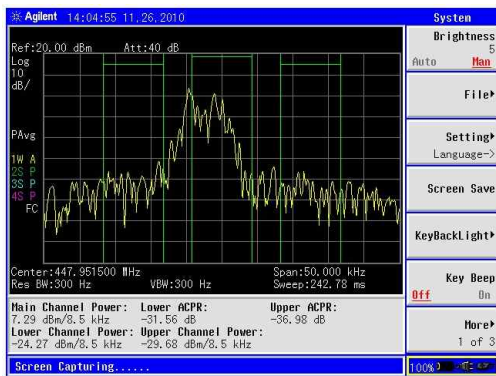


그림 9. RF 변조 출력 파형
Fig. 9. Output wave of RF modulation signal

일반적인 RF통신은 무변조 및 변조시의 인접채널 간의 간섭출력을 측정하여 그 범위에 만족하는지를 체크하며, 그림 9는 방송통신위원회에서 고시한 인접채널 12.5KHz 사이의 에너지 출력차가 40dBc 이상을

측정하는 실험으로 본 실험의 결과는 측정에 사용된 애널리저의 dBc측정의 범위가 계측기의 한계를 벗어나 원활한 실험은 되지 않았으나, 추후 전파시험기관을 통해서 40dBc이상의 결과가 나오는 것을 확인함과 동시에 무선설비기기 형식승인을 인증하였다[8].

본 논문에서 사용된 RF칩인 CC1020은 별도의 MAC을 지원하지 않기 때문에 CSMA/CA를 근간으로 하는 MAC을 설계를 하였다. 또한 447Mhz 대역의 제한된 데이터 전송 속도(2,400bps)에서 최적의 성능을 내기 위한 ACK 대기시간을 도출하였다.

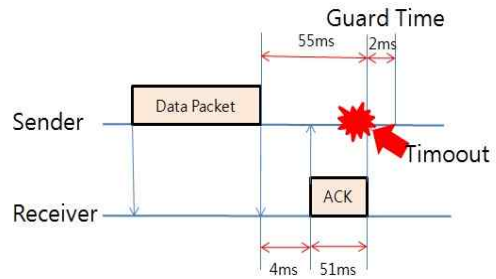


그림 10. 최적의 ACK 대기 시간
Fig. 10. Optimal waiting time for ACK

그림 10은 유니캐스트 전송에서 송신자 노드가 데이터 패킷을 전송한 뒤 ACK 패킷을 성공한 것으로 수신하는 것을 보장하기 위하여 ACK가 도달하는데 충분한지 기준을 산정하는 과정을 도식화 한 것이다.

ACK Waiting Time = 수신측의 프로세싱 딜레이 + SIFS + ACK 패킷 전송 시간 + 송신측의 프로세싱 딜레이 2,400bps의 속도에서 12바이트를 전송하는데 걸리는 시간은 4.17 ms이므로 ACK 패킷을 전송하는데 걸리는 시간은 4.17 * 12 = 50.04ms 이다. CC1020칩은 RX 모드에서 TX로 전환할 경우 스위칭 딜레이가 2ms 정도 존재하는데, 이 시간을 고려하여 SIFS는 4ms로 결정하였으며, 55ms 안에 ACK 전송이 모두 완료된 것으로 판단하였다. 2ms의 가드타임을 추가하여 실험을 진행한 결과 35,000번의 전송에서 100%의 전송률을 보였기 때문에 본 연구에서는 57ms를 최적의 ACK 대기 시간으로 결정하여 사용하였다. 무선 보안등 상용 구축에 앞서 실외 환경 멀티홉 통신 기능 실험의 경우 대구 성서 공단의 일대로 한 홉과의 통신

거리를 최소 30~80m 정도로 설정하여 8홉을 구성하여 전체 거리 500m로 구성을 하였다.

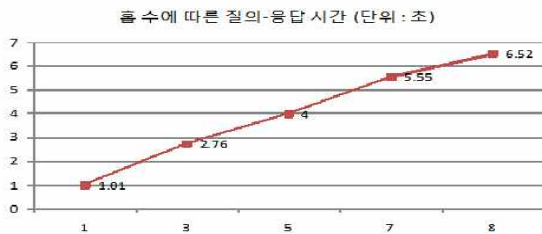


그림 11. 홉 수에 따른 질-응답 시간
Fig. 11. Multi-hop request-respond Time

본 실험에서 개별 보안등 노드 질의 응답은 100% 성공률로 응답메시지를 받았고, RF 전파 환경에 따라 재전송이 다소 발생하였고, 재전송이 없을 경우 end-to-end 지연 시간은 거리에 종속되는 부분이 있지만 대체적으로 0.45초 정도를 보였다. 그림 11은 100 회의 데이터를 개별 노드로 질의 응답을 하여 측정한 평균 응답 시간을 나타내었다.

6. 현장 운용

대구광역시 중구 지역에 본 연구 결과물의 산출물을 설치 운영 중이다. 운영 규모는 양방향 무선 보안등 점멸기 1700대, 양방향 무선중계기 27대, 관제 서버 1대 규모로 설치되어 구축되었다.

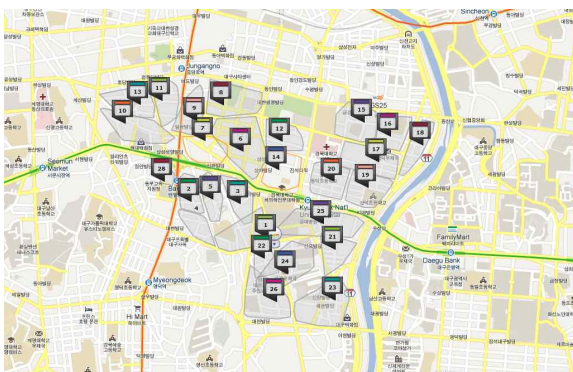


그림 12. 대구시 중구 양방향 무선 보안등 설치 구역
Fig. 12. Installation area of Security Light Control System

무선 센서 네트워크에서는 일반적으로 동일 네트워크의 경우 같은 주파수를 사용한다. 본 보안등 시스템은 무선 패킷 데이터의 전송 효율과 데이터 상호 충돌 횟수를 줄이기 위해서 할당된 447MHz 대역의 11개 채널의 주파수를 양방향 무선 중계기 단위로 주파수를 분리하여, 인접 지역과의 채널을 서로 다르게 중첩하여 간섭을 최소화하였다.

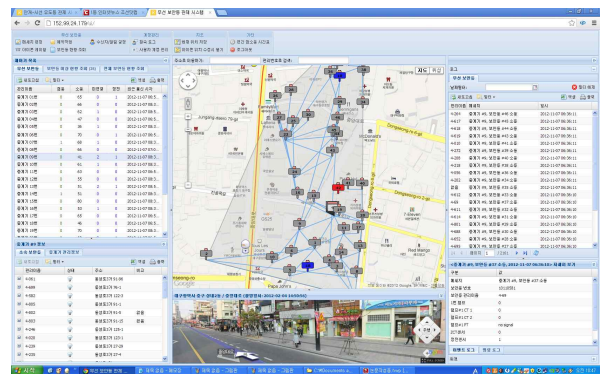


그림 13. 운영 관제 웹브라우저
Fig. 13. Web browser of Operation system

또한 1개의 중계기는 설치 영역의 특성에 따라 보안등 점멸기가 50~70개의 서브 시스템으로 구성되어 RF네트워크를 구성하였다. 구축된 관제 서버의 기능을 통해서 현재 보안등에 대한 상태 모니터링과 더불어 고장감지 및 보고, 원격 제어, 보안등 부하의 전력 측정 등이 필요하고, 무엇보다 고장이 감지되었을 때 민원신고 이전에 관리자의 휴대폰을 통한 SMS보고를 통해서 민원 사항을 최소한으로 할 수 있는 해법을 제시하였다.

7. 결론

기존 보안등 시스템은 유지 보수에 많은 문제를 가지고 있었으며, 따라서 이를 극복하기 위해 IT 기술을 접목하려는 많은 시도가 있어 왔다. 그러나 이런 시도들은 기술상의 문제, 보안등 시장에 대한 이해부족 등의 이유로 성공적으로 보안등 시장에 진입하는데 실패하였다. 본 연구에서 기존 보안등 시장에서 요구되어 지고 있는 요구 사항 조건을 만족하고, 기존 보안등

시스템의 단점인 유지 보수(원격 제어, 고장 원격 보고, 전력 계산 등)에 관련된 해법을 제안하였고, 기존의 전통산업에 새로운 IT기술을 접목하여 생산성 및 경쟁력을 확보하고 해당산업의 부가가치를 높일 수 있는 방법을 제시하였다. 다만 현재의 시중 보안등 점멸기를 무선 보안등 점멸기로 단순 교체할 경우 2차측 부하인 보안등 램프 구조에 따라 LED등, 안정기 일체형 보안등을 제외하고는 보안등 램프와 안전기의 개별 고장 구분이 힘든 점이 향후 과제로 남아 있다.

References

- [1] Tae-Jun Jang, Yeon-Ha Jung, Young-Su Roh, Hee-Ro Kwak, Chung-Seog Choi, "A Research on the Actual Conditions of the Electric Shock Hazard of a Guard Lamp", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.19 No4, p32-38, 2005, 6.
- [2] Ho-Gun Lee, Sang-Ho Lee, Suk-Gyu Lee, Jeong-Won Choi, "Development of a Bi-Directional Security Light Control System based on Low-Bandwidth Wireless Sensor Network", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.24, No.10, pp. 58-66, 2010,10.
- [3] ZigBee Specification, ZigBee Alliance Std., 2005. [Online]. Available: <http://www.zigbee.org>
- [4] Sang-Ho Lee, Gyu-Heung Kim, Suk-Jin Lee, "Design of Protocol for Security Light Control System based on Low-Bandwidth RF", The 13th Conference on Next Generation Communication Software(NCS2009), p79-81, 2009, 12.
- [5] Telecommunications Technology Association, "Protocol of Security Light based on Duplex Wireless Network", ETRI, p1556, 2010.
- [6] CC1020 Low-Power RF Transceiver for Narrowband Systems Manual [Online] Available: <http://www.ti.com>
- [7] Jeong-Sik Kim, Heun-Woo Kang, Hweung-Gye Kim, " The Method of Network link using Pseudo 3-Way Handshake based on RSSI", Proceeding of Institute of Embedded Engineering of Korea, IS1-p37, 2009, 11.
- [8] National Radio Research Agency "Regulation of Radio facilities, 2010-12", 2010, 6. [Online] Available: <http://www.rra.go.kr>

◆ 저자소개 ◆



최정원(崔丁元)

1971년 8월 26일생. 1995년 영남대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003~2006년 (주)STX. 2009년~현재 영남이공대학교 전기자동차과 교수.



이호근(李昊根)

1967년 2월 7일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업. 2010년 영남대학교 졸업(박사). 1993~1997년 한국전자통신연구원. 1997~2002년 해동정보통신 연구부장. 2006~2012년 한국전자통신연구원 선임연구원. 2012년~현재 대경광역선도산업지원단 IT융복합 PM.



오득환(吳得煥)

1958년 10월 1일생. 1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(전자계산기 모듈). 1985년 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사). 1993년 한국과학기술원 전산학과 졸업(박사). 1986년~현재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수.