

# 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 LED 조명제어시스템 적용에 관한 연구

이안규\* · 박병돈\* · 길준표\* · 신강욱\* · 박혜미\*

\*한국수자원공사

A study of LED light control system application  
based on Ubiquitous sensor network

An-kyu Lee\* · Byung-don Park\*\* · Jun-pyo Gil\*\* · Gang-wook Shin\*\* · Hye-Mi Park\*\*

\*\*Korea Water Institute

E-mail : finger@kwater.or.kr, pbk111@kwater.or.kr, gill777@kwater.or.kr, gwshin@kwater.or.kr,  
hmpark88@kwater.or.kr

## 요 약

본 논문은 수직형 정수처리시설 내의 에너지 절감을 위해 외부의 자연광과 인체감지를 통한 실내 조도 제어용 LED 조명 제어보드를 구성하여 무선 환경에서의 실시간 모니터링을 통해 조명 제어가 가능하도록 구성하였다. 또한, Zigbee 통신을 LED 조명에 적용함으로써 무선 데이터 전송과 능동적 LED 조명 밝기제어가 가능하도록 구성하였다. 제안한 제어방식은 외부의 자연광에 따라 조명의 밝기를 단계별로 디밍 제어하여 조절 및 제어함으로써 실내에너지를 실시간으로 제어하여 에너지 절약 효과를 극대화할 수 있다.

## ABSTRACT

In this paper, in order to economize energy inside the vertical-type water treatment plant, a chamber-illumination-LED control board, which operates via nature light or human's touches, is proposed. Moreover, this illumination control process is contrived to be wirelessly monitored in real-time. In addition, Zigbee communication code is programmed to implement the control board's function of wireless data transmission and automatic LED brightness control. The presented control method contrives brightness to be adjusted in real-time by dimming control, which means nature light changes control, so that the interior energy can realize the maximum energy conservation.

## 키워드

LED 조명제어, 디밍제어, 유비쿼터스 센서 네트워크, Zigbee

## I. 서 론

최근 지구온난화가 가속화됨에 따라 화석에너지 자원 고갈에 따른 유가 급등으로 새로운 에너지 자원개발 촉진과 에너지절약이 강조되고 있는 실정이다. 국내에서는 기존 에너지 다소비형 산업 구조와 가정을 에너지 저소비형으로 전환하기 위해 RFID/USN을 활용한 Green IT 전략을 핵심과제로 두고 있다[1].

특히, 우리나라 총 전력 소비의 약 20%를 점유

하는 조명용 전력소모에 대한 절감은 매우 절실한 과제로[2-3], 오늘날 경제 형태와 규모의 변화에 따라 빌딩 내부의 에너지 소비 상황도 변화하고 있다. 아파트를 비롯한 빌딩에서의 전력 소모는 더욱 증가하고 있는 추세로, 오피스텔 형 빌딩의 경우 전체 전력의 약 30~40% 가량이 조명 시설에서 소비되고 있는 실정이다. 이러한 실정에 비추어 볼 때 조명의 효율적인 제어는 에너지 절감 차원에서 매우 중요한 역할을 하지만, 이를 위해 조명등을 끄거나 줄이는 것은 일의 능률을 저

하시킬 수도 있다.

따라서 에너지 절감을 위해 기존 광원제품을 대체할 LED 조명산업에 대한 개발연구가 확산되고 있는 실정으로, LED 조명을 제어하기 위한 다양한 LED 컨트롤러가 개발되고 있으며, 다양한 공간의 조명 및 산업, 농업, 의학 등 폭넓은 분야에 걸쳐서 사용되어지고 있다.

기존의 조명제어 기술을 살펴보면 빌딩을 비롯한 조명제어 기술개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만[2, 4-6], 이들 연구는 외부 자연광에 따라 실내조도가 특정 값 이하와 이상으로 구분하여 전체 전원을 단순히 끄거나 켜는 방식을 채택하거나, 측정된 광센서 값에 따라 실내 조도를 몇 단계로 나누어 제어하는 방식으로, 에너지 절약 효과가 적거나, 건물 설계 시 외부 자연광을 어떻게 고려해야 하는지에 대한 구체적인 해답을 줄 수는 없다.

이에 따라, 본 논문에서는 에너지 절감을 위해 외부 자연광에 따른 실내밝기 예측과 인체의 움직임을 감지하여 실내밝기를 제어할 수 있는 LED 조명제어 모듈을 구성하였다.

제안한 제어방식은 수직형 정수처리시설 내에 설치되어 외부의 자연광에 따라 조명의 밝기를 단계별로 디밍 제어하여 조절하고, 사람의 움직임을 감지하여 일정 공간 내에 인체의 감지가 있을 경우 조명을 점등 및 소등하여 실내에너지를 실시간으로 제어함으로써 에너지 절약효과를 극대화할 수 있다.

## II. 제안하는 방법

본 논문에서는 기존 LED 조명방법의 단점을 해결하고자 외부 자연광과 인체의 움직임 예측을 통한 LED 디밍 제어방식을 제안하였다.

LED 조명제어 보드는 8비트 마이크로 컨트롤러인 ATmega128을 사용하였으며, LED 제어를 위한 신호는 CdS 센서를 통해 주변의 밝기를 측정하여 마이크로 컨트롤러에서 ADC(Analog to Digital Converter)를 통해 변환되며, 변환된 신호는 LED 드라이버에 PWM(Pulse Width Modulation) 신호로 입력되어 LED 밝기를 제어한다.

표 1은 LED 설치된 조명제어의 품목과 특징을 나타낸 것으로, LED 조명제어용 무선모듈, 게이트웨이, SMPS 그리고 운영 소프트웨어로 구성되어 있다. LED 조명제어용 무선모듈은 모션감지 센서와 조도감지 센서, 그리고 Zigbee 통신모듈로 이루어져 있다.

전원은 SMPS에서 외부로부터 인입되는 AC 280 V 를 DC 28 V로 변환하여 디밍 제어에 적합하도록 LED 조명제어용 무선모듈로 전원을 공급하고, LED 조명제어용 무선모듈은 SMPS로부터 받은 DC 28 V 전원을 모션감지 센서와 조도감지 센서로 각각 5V를 인가하게 된다. LED조명제어 모듈은 모션감지 센서와 조도감지 센서의 신호를 수신하여 LED를 디밍 제어하도록 구성되어 있다.

표 1. LED 조명제어 품목 및 특징

품 목	특 징	
LED 조명 제어용 무선 모듈	모션감지 모듈	- Open Collector 출력 - 감지거리 20M
	조도센서 모듈	- Angle of half sensitivity : +60° - 2. Luminance : 1000lux(Max)
Zigbee 통신모듈	- 2.4GHz 대역 ZigBee - 다기능 기반 플랫폼 탑재	
게이트웨이	이더넷 통신모듈	- Telnet Colsole - TCP/IP, DHCP, PPPoE 프로토콜
	Zigbee 통신모듈	- 2.4GHz 대역 ZigBee - 다기능 기반 플랫폼 탑재
SMPS	0.8KW SMPS	- 출력 DC 28V/28.5A - 효율 85%, 역률 0.95
	레이스웨이 기구	- Aluminium Alloy Temper 6063-T5 - 40W LED
운영 S/W	LED조명 제어용	- 실시간 원격모니터링 - 운전 스케줄링 설정 및 이력관리

또한, Zigbee 통신을 LED 조명에 적용하여 무선 데이터 전송과 조명 ,밝기제어 및 원격설정이 가능하도록 구성하였다.

센서노드는 매쉬망으로 연결되어 Zigbee 게이트웨이를 통해 운영관리 PC로 정보를 전달하며, 게이트웨이와 실시간으로 통신을 한다. 운영관리 PC와 Zigbee 게이트웨이 간은 UDP 통신을 하며, MODBUS TRU 프로토콜을 사용한다.

또한, 설정된 전송주기에 따라 상태데이터를 주기별로 서버로 전달할 수 있도록 구성하였으며, 운영환경 설정 및 관리를 위한 원격 기기관리 기능을 지원한다. 또한, 모든 LED조명의 가동상태와 출력조건을 데이터베이스에 이력저장 하여 일별, 월별, 연별로 예상전력량을 산출 및 트랜드로 표시하여, 운영관리 소프트웨어를 통해 기기의 구동상태를 실시간 모니터링이 가능하도록 상태데이터를 통신 지원한다.

아래 그림 1은 LED 조명제어용 Zigbee 통신모듈 블록도를 나타낸 것이고, 표 2는 사용된 Zigbee 설계규격을 나타내었다.

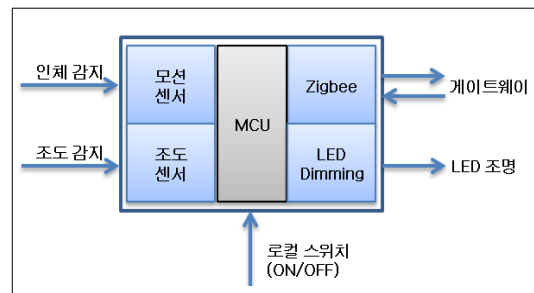


그림 1. LED 조명제어용 Zigbee 통신모듈 블록도

표 2. Zigbee 설계규격

항 목	설계 규격
주파수	2.4GHz IEEE 802.15.4
Core	Ember EM250
동작전압	2.7V~3.6VDC
Receiver Sensitivity	-102dBm
Max. TX Power	8dBm
Rx Current (Max)	45mA@3.3V
Tx Current (Max)	190mA@3.3V
Data rate	250Kbps
Program Memory	116KB
전송거리(Max)	1.6Km
기타	4Ch 아날로그입력, 13 디지털 입출력

LED 디밍 제어 출력은 아래 표 3과 같이 외부 조도량에 따라 5단계로 단계별 제어가 가능하도록 설정하였으며, 원격 지정제어, 센서입력 제어, 로컬스위치 제어 등 제어기능 선택이 가능하고, 제어 우선순위를 사용자가 소프트웨어에서 지정할 수 있도록 설정하였다.

표 3. LED 디밍 제어 출력설정

단계	조도량 (%)	디밍 출력 값
01	0~10	100
02	10~20	80
03	30~40	60
04	40~50	40
05	50~60	20

### III. 시뮬레이션 검증

LED 조명의 밝기제어를 위해 네트워크 시뮬레이션 툴인 NS-2(Network Simulator 2)[7]를 사용하여 Zigbee 모듈에 탑재 가능한 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 성능을 검증하였다.

시뮬레이션 환경은 2.4 GHz대역, 최대 통신거리를 10m로 설정하였고, UDP Transport와 IEEE 802.15.4의 Zigbee Wireless PHY와, Zigbee Wireless PHY와의 호환성을 고려하여 IEEE 802.15.4MAC을 사용하여 진행하였다.

센서노드의 배치는 전체 토폴로지의 1/4에 해당하는 지역을 클러스터로 형성하여, 클러스터 헤더는 주기적으로 갱신되도록 설정하였다. 또한, 클러스터 노드는 클러스터 헤더로 패킷을 전송할 수 있는 Tree 구조의 라우팅을 수행하여 주기적인 라우팅 메시지 브로드캐스트가 가능하며, 클러스터 헤더를 라우터 또는 게이트웨이에게 패킷을 보낼 수 있는 경로를 형성하였다.

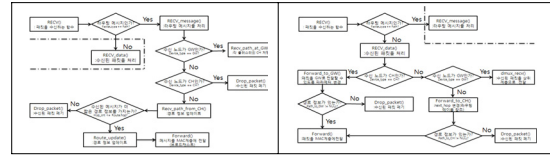


그림 2. 라우팅 동작 및 데이터 전달과정

노드 설정시간은, 60대는 10초 간격으로, 나머지는 각각 1, 3, 5, 7초 간격으로 패킷을 전송하도록 지정하였다. 모든 노드들은 동작이 시작된 후 30초부터 패킷 전송을 시작하여, 총 1830초 동안 시뮬레이션이 진행된다.

라우팅 동작과 데이터 전달과정은 그림 2의 플로우차트와 같이 이루어진다.

기존 Tree 기반 Zigbee 라우팅 프로토콜과 제안한 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션 하여 비교한 결과, 아래 그림 3과 같이 기존 Zigbee 라우팅 프로토콜보다 제안한 라우팅 프로토콜이 적은 노드수를 거쳐 움직이는 것을 확인할 수 있었다.

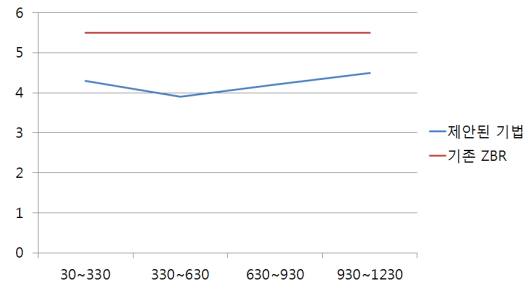


그림 3. 기존 및 제안된 프로토콜 비교

### IV. 제작 및 실험

NS-2 시뮬레이터로 검증된 결과를 토대로 LED 조명 제어용 무선모듈을 제작하여 수직형 정수처리시설 내에 설치하였다. 설치된 LED 조명제어는 아래 그림 4와 같고, 그림 5은 SMPS와 LED 무선 제어용 무선모듈을 나타낸다.



그림 4. 설치된 LED 조명제어

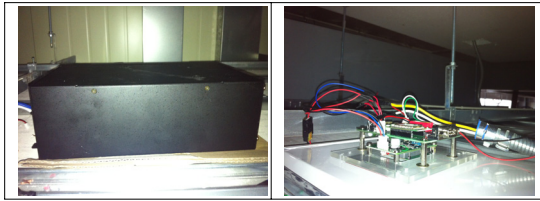


그림 5. SMPS 및 Zigbee 모듈

또한, 감시제어화면을 구성하여 실시간으로 제어 및 감시가 가능하도록 구성하였으며, 그림 6은 감시제어화면을 나타낸다.



그림 6. 감시제어화면 구성

## V. 결 론

본 논문에서는 외부의 자연광과 인체감지를 통한 실내 조도를 제어할 위한 LED 조명 제어보드를 구성하여, Zigbee 통신을 LED 조명에 적용함으로써 무선 데이터 전송과 능동적 LED 조명 밝기제어가 가능하도록 구성하였다.

운영프로그램은 Zigbee 게이트웨이를 통해 송수신 되는 LED 조명제어 모듈 데이터를 모니터링하고 데이터베이스를 통해 이력관리 하며, 실시간 기기 상태정보를 보여주는 GUI프로그램을 탑재하여, 모든 LED 조명제어 모듈의 모션감지 센서신호, 조도센서신호, 디밍 제어 출력상태, 로컬 스위치 상태를 실시간으로 모니터링 하며, 각 층의 게이트웨이와 인터넷통신을 통해 실시간으로 정보 송수신이 가능하다. 또한, LED 조명 디밍 제어의 운영환경을 개별적으로 설정할 수 있도록 구성하여 게이트웨이를 통해 설정 데이터를 LED 조명제어 Zigbee 무선모듈에 즉각적으로 송신이 가능하다.

한편, LED 조명은 주변의 밝기와 인체감지를 통해 동작을 하게 되며, 밝기의 단계는 5단계로

설정하였다.

구성된 LED 조명 제어보드는 다양한 조명에 적용할 경우 안정적인 디밍 제어가 이루어지며, 적용방법에 따른 소비전력의 감소 및 근거리 무선통신이 가능한 Zigbee를 적용함으로써 효율적인 조명제어가 가능할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국조교통부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 : 10기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] T. Park, S. Hong, "Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 6(2), April 2009.
- [2] 조성오, "빌딩 제어 및 관리 시스템 개발에 관한 연구", 한국 실내디자인학회 논문집, 제16권, 제4호, pp. 110-118, 2007년 8월.
- [3] 양호, 프로그래머블 로직컨트롤러(PLC)의 이론과 실습, 북두출판사, 1999년.
- [4] Craig DiLouie, "Study: Controls Combine to Deliver Large, Persistent Energy Savings and Improved Occupant Satisfaction in Open Office," 2009.
- [5] 윤창로, "가정용 조명제어 기기에 관한 기술", 2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1083-1085, 2005년 7월.
- [6] 이진우, "전자식 안정기와 조명제어 신기술 동향", 조명. 전기설비학회지, 제18권, 제1호, pp. 20-23, 2004년 2월.
- [7] "Network Simulator ns-2", <http://www.isi.edu/nsnam/ns>