독립형 태양광 발전을 이용한 효율적인 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템 설계

An Efficient Hybrid LED Street Lighting Management System Design using Standalone Solar Photovoltaic

홍 성 일, 인 치 호*
(Sung-IL Hong¹ and Chi-Ho Lin^{1,*})

¹School of Computer, Semyung University

Abstract: In this paper, we propose a design for an efficient hybrid LED street lighting management system using standalone solar photovoltaic. The proposed efficient hybrid LED street lighting management system was composed of hybrid power conditioning system, gateways, LED street lights and a monitoring server. The hybrid power conditioning system was designed to charge produced power by solar photovoltaic panels in day time, and supply power to the LED street lights in night time. If there is insufficient power, the system was designed to operate using firm power, because the system utilizes photovoltaic power. A system control algorithm allied to the lighting management system, and experimented by being configured to the functions that are able to perform real-time monitoring and remote control through the lighting management system even when absent. In the result of the efficiency analysis of the hybrid lighting management system proposed in this paper, we were able to increase the energy efficiency compared to existing lighting control systems by reducing power consumption and electricity costs.

Keywords: hybrid, street lighting, lighting-control, photovoltaic, MCU, gateway, power conditioning

I. 서론

오늘날 세계적으로 일인당 에너지의 평균 소비의 증가로 인하여 에너지 부족에 직면하고 있다. 이것은 석유 및 천연 가스의 매장량의 지속적인 감소로 이어졌다. 따라서 신재생 에너지 기술은 세계 에너지 위기에 대한 해결책을 찾기 위해 전 세계적으로 엄청난 관심을 가져왔다[1].

태양 에너지는 에너지원이 방대하여 자원 고갈이 없으며 친환경 에너지원으로서 발전을 통해 누구나 공급할 수 있고, 다수의 발전 규모로 이용이 가능하다. 태양광 발전은 태양 에너지를 활용하기 때문에, PV 패널(Photovoltaic panel)의 동작을 위해 어떠한 연료를 필요로 하지 않는다. 그러나 에너지 밀도가 매우 적기 때문에 PV 패널을 통해 많은 발전량을 얻으려면 큰 면적의 패널이 필요하고, 비용이 상승하며, 기상조건 및 설치장소에 따라 발전량이 변하여 일조량이 부족한 경우에 발전량이 감소되는 단점이 있다. 그렇지만 태양광 발전은 정부가 추진하고 있는 친환경적 경제성장 발전의 원동력으로 주목받고 있다. 태양에너지 시장은 세계 원유 생산 속도보다 10배 빠른 성장을 보였기 때문에 2020년까지 연간 25%씩 성장한다고 가정하면 태양

광 발전량은 106,000MW에 달하게 될 것이다. 이것은 핵발전소 30~40개가 낼 수 있는 전력량이기 때문에 태양광을 이용한 시스템 기술 개발이 지속적으로 이루어져야 한다[2-4].

최근 태양광 발전 시스템은 대규모의 태양광 발전소에서부터 소규모에 이르기까지 매우 다양한 응용을 할 수 있다. 태양광 발전의 응용 중, 가장 효과적인 사용은 독립형 태양광 발전을 이용한 가로등이다. 그러나 현재의 대부분의 가로등은 메탈 할라이드(Metal halides) 램프를 사용한다. 현대 도시는 기후변화에 따른 에너지 저소비형 도시 형성을 위해 친환경 에너지원을 이용한 조명의 사용이 증가하고 있다. 세계적으로 조명의 연간 사용개수는 3천억 개이고, 소비전력은 2조 1천억 KWh로 전체 전력의 12-15%를 소비하고 있다. 따라서 조명사용으로 연간 17억 톤의 CO₂가 배출되고 있어 신재생 에너지를 활용한 친환경 조명 개발과 설치가 확대되고 있다. 미국, 일본, 중국을 비롯한 세계 각국의 조명은 신재생 에너지의 활용가치를 중시한 기능 중심적인 경향이 있다. 그러나 국내기업이 개발 및 설치한 대부분의 조명은 해외사례와 유사하지만 디자인이나 활용가치보다 신재생 에너지 사용에 의미를 둔 기술 중심적인 경향이 있다[5-7].

태양광 발전을 이용한 기존의 조명기술 중, 원격제어 시스템 관리 및 조명제어 시스템은 효율적인 인터페이스 및 제어 아키텍처를 제공하고, 시스템 관리를 위해 지그비 기반 무선통신을 사용한다. 관리정보는 원하는 시스템의 매개변수를 제어하고, 센서를 조합하여 지그비 모듈을 통해 전송하며, 조명의 상태를 확인하여 적절한 제어정보를 제어단자로 전송한다. 태양광 발전을 이용한 조명의 지능형 제어

* Corresponding Author

Manuscript received April 25, 2014 / revised May 21, 2014 / accepted June 22, 2014

홍성일, 인치호: 세명대학교 컴퓨터학부

(megadriverr@hanmail.net/ich410@semyung.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 시스템반도체 설계인력양성사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0601-14-1001).

는 현재 일반 조명 충전과 방전, 관리 컨트롤러 및 무선 통신 기술을 결합한다. 그것은 배터리의 충전 또는 방전을 위해 확실한 시스템 제어가 가능한 퍼지제어 이론을 사용하여 독립적으로 네트워크에서 실행가능하기 때문에 시스템의 안정성을 보장한다[8,9].

그러나 기존 조명관리 시스템의 모니터링 및 제어방법은 모니터링 지역과 제한시간에만 제어가 가능하기 때문에 관리자의 투입이 절대적으로 필요하고, 장애가 발생하면 실시간 확인이 불가능하여 신속한 지원이 어렵다. 또한, 관리자 관점의 모니터링 및 제어 시스템들로서 H/W적 자원들에 대한 관리가 이루어지기 때문에 사용자 관점에서 시스템 모니터링 및 제어가 어려운 문제점이 있다[10-12].

본 논문에서는 선행 연구의 문제점 해결을 위하여 신재생 에너지원인 태양광 발전과 LED (Light Emitting Diode) 조명을 사용하는 독립형 태양광 발전을 이용한 효율적인 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템을 제안한다. 제안하는 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템은 웹 서비스를 위해 웹 서버를 구축하여 가로등과 주변 환경정보에 대한 모니터링 및 제어가 가능하고, 가로등 관리를 통한 시스템의 동작환경 설정 및 제어를 편리하게 할 수 있으며, 실시간 모니터링 및 제어기능과 사용자 요구에 따른 점등 제어 및 스케줄 설정에 대한 원격제어 기능을 제공하여 혼동을 최소화 할 수 있는 특징이 있다. 그리고 기존 시스템과 비교하여 초기 설치비용이 많이 소요되지만 다중센서를 통한 점등제어와 태양광 발전을 이용하여 전원공급으로 상시전원 사용을 거의 하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한, 스마트 기기를 이용하여 조명시설 관리와 유지보수 투입 인력 및 비용절감, 시간절약을 통한 경제적 가치를 최대화 할 수 있으며, 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 동작제어를 통해 에너지 효율성을 향상 시킬 수 있다.

II. 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템

본 논문에서 제안된 독립형 태양광 발전을 이용한 하이브리드 가로등 조명관리 시스템은 PV 패널을 포함하는 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템(hybrid power conditioning system), 시스템 동작을 제어하는 게이트웨이를 포함하는 분전함, 모션 센서를 이용한 LED 가로등, 하이브리드 LED 가로등의 점등제어 알고리즘 적용 및 조명관리 시스템의 모니터링과 제어를 담당하는 모니터링 서버로 구성하였다.

하이브리드 가로등 조명관리 시스템에서 사용하는 독립형 태양광 발전은 주간 PV 패널에 의해 전력이 생산하여 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템의 충전회로를 거쳐 배터리에 충전하는 방식이다. 배터리는 야간에 방전회로와 LED 드라이버를 통해 LED 가로등에 전원을 공급할 수 있도록 설계하였다. 그리고 LED 가로등은 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템을 통해 PV 패널에서 생산된 신재생 에너지를 활용하여 전력을 운영하도록 하였기 때문에 전력 부족시 상시전력을 활용하여 운영하도록 시스템을 설계하였다. 또한, 충/방전 전력제어 알고리즘과 이벤트 확인 알고리즘, 시스템 제어 알고리즘을 적용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템은 웹 서비스를 목적으로 설계하였기 때문에

그림 1. 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템.

Fig. 1. Hybrid LED street lighting management system.

관리자의 부재중에도 스마트 디바이스를 이용하여 조명관리 시스템에 접속이 가능하고, 실시간 모니터링 및 원격 제어, 환경정보 데이터의 실시간 저장, 스케줄 설정에 의한 시스템 동작제어를 할 수 있도록 기능을 통합하여 구현하였다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 기본 구성을 나타낸다.

1. PV 패널과 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템

소규모 독립형 태양광 발전은 최근 대체 에너지에 대한 관심이 증가되면서 다양한 형태의 응용제품들이 만들어지고 있다. 그러나 설계 방법이 체계화되지 않아 PV 패널 및 배터리가 필요이상으로 크게 설계되거나 반대로 너무 작게 설계되어 동작이 불안정해지고, 잦은 고장의 원인이 되고 있다. 그러므로 독립형 태양광 발전은 주간 PV 패널을 이용하여 배터리에 충전하고, 충전된 에너지를 일몰 후 사용해야 하므로 부하용량에 따른 PV 패널 및 배터리 용량을 산정해야 한다. 배터리 용량 산정은 기후 특성상 태양광 발전을 할 수 없는 부조일수를 고려하여야 한다[13].

본 논문에서 제안된 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 PV 패널은 주간 태양광에 의하여 생산되는 전력을 배터리에 공급하고, 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템은 생산되는 에너지를 전기에너지로 변환하여 배터리에 충전한다. 야간에는 방전을 통해 LED 가로등에 전력을 공급한다. 이때 전력 부족 상태가 발생하면 하이브리드 컨디셔닝 시스템은 스위치 모드 파워서플라이(SMPS: Switching Mode Power Supply)를 통해 상시전원을 공급하여 제어하도록 설계하였다. PV 패널의 용량과 배터리 용량은 식 (1), (2), (3)을 이용하여 산정하였다. 식 (1)의 $[Wh]$ 는 부하소비 전력, $[w]$ 는 부하전력, $[hr]$ 는 사용시간을 의미하고, 식 (2)의 $[PV_w]$ 는 PV 패널 용량, $[DS_h]$ 는 평균 일조시간을 의미하며, 식 (3)의 $[B_{ah}]$ 는 배터리용량, $[NDS_h]$ 는 부조일수, $[B_c]$ 는 배터리 전압, CD_e 는 충방전 효율, D_d 는 방전심도를 의미한다.

$$[Wh] = [W] \times [hr] \quad (1)$$

$$[PV_w] = [Wh] / [DS_h] \quad (2)$$

$$[B_{ah}] = [Wh] \times [NDS_h] / (B_c \times CD_e (0.85) \times D_d (0.6)) \quad (3)$$

PV 패널과 배터리의 제원은 충·방전을 통해 LED 가로등에 전력공급을 하므로 PV 패널은 DC12V/10W의 전력을 생산하고, 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템은 DC12V/10A가 출력되어 제어하도록 설계 하였다. 배터리는 DC12V/30A의 용량을 사용하였다. 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템은 PV 패널에 의한 충전 에너지를 DC 12V의 전기 에너지로

그림 2. 충·방전 전력제어 알고리즘.

Fig. 2. Power control algorithm for charge and discharge.

전환하고, 충전 전력 부족 시에는 자동으로 상시 전원으로 전환하도록 설계하였으며, RS232 통신을 통하여 충전 용량에 대한 데이터를 전송하여 DC 12/2A의 전원을 사용하였다. 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등에서 사용하는 배터리는 충전 시 잔존용량(state of charge)의 증가와 함께 전압이 상승하고, 방전 시 전압이 감소하는 특성을 갖고 있다. 태양광 발전을 이용한 가로등 설계는 배터리 특성을 고려하여 과충전 및 방전을 방지하는 제어가 필요하다.

하이브리드 LED 가로등에서 사용하는 배터리는 12V 100Ah 2개를 연결하여 사용하였다. 하이브리드 LED 가로등의 특성상 충·방전은 각각 다른 시간에 이루어지면서 24시간 동작한다. 주간에 햇빛에 의해 생산되는 배터리 충전을 위한 PV 패널의 전류는 약 5A가 생산되고, 전류에 의해 생성된 전력은 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템을 통해 배터리를 충전하는데 사용된다. 충·방전 전력제어 알고리즘에 의한 배터리의 충전전류는 정전류 기술을 사용하였고, 방전전류는 2.5A로 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템을 통해 LED 가로등으로 전력을 공급한다. 그림 2는 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템에 적용하기 위해 설계한 PV 패널 생산 전력의 충·방전 제어 알고리즘을 나타낸다.

초기에 하이브리드 파워 컨디셔닝 시스템은 배터리의 전압을 각각 검사하여 충전상태 및 방전상태를 설정한다. 모드설정 방법은 단자 전압이 낮은 배터리를 충전용 배터리(charge mode), 나머지 배터리를 방전용 배터리(discharge mode)로 설정한다. 모드설정 이유는 PV 패널에 의한 충전전류를 크게 하여 발전효율을 향상시킬 수 있고, 방전에도 유리하기 때문이다. 전압이 동일한 경우는 임의적으로 배터리를 충전모드와 방전모드로 설정되도록 설계하였다. 방전상태의 배터리는 LED 가로등을 점등하고, 방전종료 전압은 11.5V 설정하였다. 충전상태의 배터리는 MPPT 알고리즘을 이용하여 충전을 시작하고 충전종료 전압은 13.5V로 설정하였다. 과충전과 방전으로 인해 LED 가로등의 오동작이 발생하지 않도록 충·방전 전력제어 알고리즘은 배터리의

모드를 변경하도록 설계하였다. 배터리의 초기치는 모두 100% 상태에서 방전을 개시하여 하루 동안 방전량이 60Ah 라면 40%의 잔존용량을 갖게 되어 전압은 11V 정도를 나타낸다. 용량이 40%인 배터리 전압을 V_1 , 70%인 배터리 전압을 V_2 라고 하면 $V_2 \geq V_1$ 이 된다. 따라서 설계한 배터리의 충·방전 전력제어 알고리즘을 이용하여 제어할 경우 PV 패널에 의한 발전량은 일반적인 경우보다 증가하게 된다.

2. 분전함 및 게이트웨이

하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템에서 사용하는 분전함은 센서 노드와 통신을 수행하는 인터페이스로, 2.4GHz 대역의 지그비 통신을 이용하여 센서 노드에 명령을 전송하거나 센서 노드로부터 데이터를 수신한다. 그리고 모니터링 서버와 통신을 위해 이더넷과 지그비 통신 방법을 이용하여 연동을 하고, CDMA (Code Division Multiple Access) 및 GPS (Global Positioning System) 통신이 지원되도록 설계하였다. 그림 3은 게이트웨이를 포함한 분전함의 설계 구조를 나타낸다.

표 1은 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템에서 사용하기 위해 설계 및 개발한 분전함과 게이트웨이의 기능 및 제원을 나타낸다.

분전함은 게이트웨이와 파워미터, 릴레이, 통신모듈 등의 회로보호를 위해 전기 보호 회로를 내장하고, 방수 및 방진에 대한 피해를 막을 수 있도록 설계하였다. 게이트웨이는 유·무선 통신 프로토콜 및 입출력 인터페이스의 통합제어를 위해 지그비, 이더넷, CDMA, GPS 등 외부 디바이스와 연결할 수 있게 인터페이스를 설계하였다. 이때, CDMA와 GPS는 UART0 포트에 함께 연결시켰기 때문에 동시에 사용할 수 없고 저항의 실장/미실장을 통해 선택적으로 사용할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서는 게이트웨이와 메인서버의 연동을 위해 이더넷을 사용하였다.

220V	Ethernet, zigbee, CDMA, GPS		
Circuit Breaker	Multi protocol Gateway		
Noise filter			
SMPS for distribution box	Power meter		
	Lighting control relay	Lighting control relay	Lighting control relay

그림 3. 분전함 구조.

Fig. 3. Distribution box structure.

표 1. 분전함과 게이트웨이.

Table 1. Distribution box and gateway.

Production	Features and specifications
Distribution BOX	Power Meter : AC220V/30A (output of pulse) Relay : AC220V/5A Earth leakage Circuit Breaker : AC220V/20A (Power supply block when shorted)
Gateway	AC220V/3A, 60Hz MCU & OS : ARM915T(S3C2440), Linux Interface : zigbee, CDMA, Ethernet, GPS Operating Temp : -20°C ~ +75°C

그림 4. 점등제어 시스템 제어 흐름.

Fig. 4. Lighting control system control flow.

그림 5. 맥 레이어 PDU 메시지 형식.

Fig. 5. MAC layer PDU message format.

그림 4는 점등제어 시스템의 제어흐름을 나타낸다. 게이트웨이는 인체 감지시 감성조명 연출 및 스케줄에 의한 가로등의 조명제어가 되도록 지그비를 이용하여 명령을 전송한다. 파워미터는 게이트웨이를 통해 LED 가로등의 전력소모량을 메인서버로 전송, 마그네틱 스위치를 이용한 분전함의 AC전원을 제어하고, 유사시 자체 타이머를 이용하여 독립적 제어 기능을 수행하도록 설계하였다. 게이트웨이와 메인서버의 연동에 의한 데이터 전송은 게이트웨이 인터페이스 구성에 의해 CDMA를 이용하지 않고 이더넷 인터페이스를 이용하였다.

가로등 모니터링 및 제어 시스템의 경우, 가로등 등주 사이의 거리는 약 30m로 지정하여 통신 프로토콜은 최적의 데이터 전송을 보장하고, IEEE 802.15.4 기반의 통신 표준을 사용하는 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 설계는 정교하고 복잡한 네트워크의 각 가로등 및 센서 노드, 각종 디바이스들을 통합 제어할 수 있다.

게이트웨이는 원격제어를 위한 미들웨어 모듈 및 MAC 프로토콜을 이용하여 네트워크 형성을 위해 설정한 MAC layer PDU, 지그비 모듈과 센서 노드의 데이터 송·수신을 위한 Zigbee serial PDU로 설계하였다. 미들웨어 모듈에는 다중 프로토콜 게이트웨이 원격제어 알고리즘을 설계하여 적용하였다. 원격제어 알고리즘은 USN 인터페이스 프로토콜을 사용하여 지그비 모듈과 통신 상태를 체크하고, 설정 정보 확인 및 제어설정을 통해 현장 상황의 실시간 원격제어와 게이트웨이의 효율적 활용을 위해 다양한 응용 메시지 변환 및 새로운 노드 추가/삭제를 한다. 그리고 지그비 네트워크의 불필요한 메시지 전달 차단과 같은 원격제어 및 게이트웨이와 노드들 간의 통신 자원을 공평하고 효율적으로 사용할 수 있도록 제어한다. 또한, 각각의 단위 지

역으로 분류되어진 하이브리드 LED 가로등의 다중 센서 관리와 통신을 위해 지그비 안테나 및 모듈을 탑재하고, 무선 프로토콜, 이더넷 프로토콜, RS232, 디스플레이 및 입력 인터페이스의 통합제어를 한다.

그림 5는 네트워크 형성을 위해 재설정된 MAC layer PDU메시지 형식을 나타낸다. MAC (Media Access Control)은 physical link layer에 해당하는 레이어로 1:1의 네트워크 구성 및 데이터 송·수신을 한다. Zigbee NET PDU의 필드들은 지그비 맥을 이용한 네트워크 형성을 위해 메시지 전송 포맷을 재설정 하였다. service_type은 서비스 구분자로 사용하기 위해 0xF1의 값을 설정하였고, protocol_ver는 프로토콜 버전 0x10으로 설정하였다. seq_no와 len은 각각 일련번호와 메시지의 길이를 위해 설정하였다. 메시지의 최종 목적지 주소와 최초 송신자 주소를 위해 dst_addr와 src_addr를 사용하였으나 MAC 메시지의 송·수신자와 다를 수 있다. 이때, 지그비 모듈과 시리얼 통신 상태를 체크하고, 지그비 모듈의 설정정보 확인 및 설정을 위해 Zigbee serial PDU 메시지 형식을 설정하였다.

그림 6은 USN 모듈 인터페이스 프로토콜의 Zigbee serial PDU 메시지 설정을 나타낸다. protocol은 지그비 모듈과 MCU의 통신 상태를 확인하기 위해 요청을 하면 MCU에서는 지그비 모듈로 msg_type 값 0x00을 전송하도록 설정하였고, 정상일 경우는 지그비 모듈로 부터 응답시 msg_type 값 0x01과 version필드에 현재 사용하고 있는 지그비 USN 모듈의 버전정보 0x11을 MCU로 함께 전송하도록 설정하였다. 그리고 지그비 모듈의 설정정보를 확인하거나 셋팅하기 위해 요청 시에는 msg_type 값 0x10과 format 필드의 기본 값 0x00을 MCU에서 지그비 모듈로 전송하도록 설정하였다. 또한, 지그비 모듈의 설정정보 응답 시에는 msg_type

그림 6. 지그비 시리얼 PDU 메시지 형식.

Fig. 6. Zigbee serial PDU message format.

값 0x11을 MCU로 전송하도록 설정 하였다. 이때, zigbee_addr, channel, pan_id, net_addr, tx_power 필드를 통해 설정 값을 함께 전송한다.

표 2는 제어 프로토콜을 나타낸다. 조명관리 시스템에서 사용하는 프로토콜은 게이트웨이 제어 프로토콜과 센서 노드 제어 프로토콜로 구분을 하고 메시지를 설정하였다. 게이트웨이 제어 프로토콜은 클라이언트와 게이트웨이 사이에서 장치 프로브 연결 상태 및 설정정보 변경, 게이트웨이 제어명령, 제어/동작상태 정보, 기타 측정값을 포함하여 각 장치의 동작 상태정보를 리포트하고, 이벤트와 관련된 요청/응답에 대하여 제어를 하도록 메시지 형식을 설정하였다. 센서 노드 제어 프로토콜은 게이트웨이가 센서 노드를 제어하고, 센서 노드 동작상태 변경 및 고장 등 이상이 발생되면 이벤트를 전달하도록 메시지 형식을 설정하였다.

표 3은 게이트웨이에서 장치정보 수집 및 시간 세팅을 위해 설정한 게이트웨이 제어 프로토콜의 프로브 메시지 포맷을 나타낸다. 게이트웨이 프로토콜은 프로브 요청 (REQ_PING)을 하면 dev_type, dev_version을 추가하여 장치

프로브 응답(RES_PING)하고 연결 상태를 확인한다. 이때, 센서 노드 제어 프로토콜은 장치에 프로브 요청 (REQ_PING)을 하고, 장치로부터 장치프로브 응답 (RES_PING)을 받아서 게이트웨이로 전송한다. 표 4는 센서 노드에서 장치정보 수집 및 시간 세팅을 위해 설정한 센서 노드 제어 프로토콜의 프로브 메시지 포맷을 나타낸다.

그림 7은 게이트웨이의 제어 흐름을 나타낸다. 제어흐름은 센서 노드와 싱크 노드의 연결을 확인하여 연결된 센서 노드 정보 요청을 하고, 싱크 노드는 정보요청에 응답한다. 메인서버는 게이트웨이와 포트를 연결하여 센서 노드 응답 정보를 수신하고, 정보를 확인한다. 게이트웨이는 모니터링 서버로부터 데이터 요청과 센서 ID를 수신하여 매핑 정보를 생성하고, 세션 ID를 추가하여 싱크노드에 전송한다. 센서 노드는 싱크 노드로부터 데이터 요청 정보 및 세션 ID를 수신하고, 세션 ID와 함께 싱크 노드로 다시 전송한다. 싱크 노드는 매핑 정보 검색을 통해 데이터 수신결과 및 센서 ID, 세션 ID를 게이트웨이에 전송하고, 모니터링 서버는 데이터 결과와 센서 ID를 게이트웨이에서 수신한다.

표 2. 제어 프로토콜.

Table 2. Control protocol.

Division	Message format
gateway control protocol	REQ_PING, RES_PING
	REQ_SET_CONFIG, RES_SET_CONFIG
	REQ_GET_CONFIG, RES_GET_CONFIG
	REQ_CONTROL, RES_CONTROL
	REQ_STATE, RES_STATE
	REPORT_STATE
	REPORT_STATE (from gateway)
	REPORT CONFIG
sensor node control protocol	EVENT_GATEWAY
	REQ_PING, RES_PING
	REQ_SET_CONFIG, RES_SET_CONFIG
	REQ_GET_CONFIG, RES_GET_CONFIG
	REQ_CONTROL, RES_CONTROL
	REQ_STATE, RES_STATE
	REPORT_STATE
	EVENT
	RES_STATUS_REPORT

표 3. 게이트웨이의 프로브 메시지 포맷.

Table 3. Probe message format of gateway.

msg_type	REQ_PING	
protocol_version	unit8	0x10
msg_type	RES_PING	
protocol_version	unit8	0x10
dev_type	unit8	0x10
dev_version	unit8	0x10, sw ver 1.0

표 4. 센서 노드의 프로브 메시지 포맷.

Table 4. Probe message format of sensor node.

msg_type	REQ_PING (sensor to gw)	
protocol_version	uint8	0x10
hh	uint8	hh
mm	uint8	mm
ss	uint8	ss
msg_type	RES_PING	
protocol_version	uint8	0x11
dev_type	uint8	
dev_version	uint8

그림 7. 게이트웨이의 제어흐름.

Fig. 7. Gateway control flow.

3. 모션 센서와 LED 가로등

모션 센서는 최대 감지거리가 25M가 되도록 하였고 게이트웨이에 센싱 데이터 값을 전송하기 위한 지그비 모듈과 센서 노드의 동작을 위해 AC220/0.15A의 전원을 사용하였다. 하이브리드 LED 가로등은 인체 감지시 보행자의 통행을 고려하여 10W LED 모듈 4개와 모듈당 3.3V/370mA의 전력을 소모하기 때문에 DC12V/2A의 전원을 사용하였고, LED의 밝기를 자동으로 조절하기 위하여 사용하는 Dimmer는 DC12V/1.5A의 전원을 사용하였다.

그림 8은 오작동하는 노드의 검출 및 장치 모니터링을 위해 수행되는 하드웨어 이벤트, 움직임 감지 및 노면 결빙 상태, 환경정보 이벤트 확인 알고리즘을 나타낸다. 알고리즘은 지속적으로 하드웨어 이벤트를 모니터링하고, 오동작에 대하여 검출된 문제 및 센서 정보들은 15초마다 메인서버로 정보전송을 한다. 전송된 정보들은 사용자 인터페이스를 통해 모니터링 할 수 있다. 이때, 제어 프로토콜에 의한 각 장치와 센서들을 모니터링을 통해 검출될 수 있는 문제들은 의도하지 않은 센서노드의 동작 상태 변경 및 LED 모듈의 점등상태 제어불가, 안정기 동작불량 및 가로등의 누전 상태정보가 있다. 메인서버로 전송되는 정보는 이벤트

표 5. 모션 센서와 LED 모듈.

Table 5. Motion Sensor and light.

Production	Features and specifications
Motion Sensor	Maximum detection distance : 25M - AC220/0.15A - Frequency : 10,525MHz - Operating Temp. : -20°C ~ +55°C
LED module of street lights	Automatically direction of the emotional lighting when body detected. Automatic lighting control by schedule - LED Light : DC12V/2A (10W 4ea, Module-specific 3.3V/370mA) - Dimmer : DC12V/1.5A (The LED module lighting brightness automatically adjust) - RGB LED Bar : DC24V/15W(3ea) - RGB Controller : DC12V/24V both (DMX512 control) - SMPS : DC12V/3.2A(LED) / DC24V / 2.5A(RGB LED)

그림 8. 이벤트 확인 알고리즘.

Fig. 8. Algorithm for event confirm.

발생시간과 검출된 이벤트 정보를 전송하게 된다.

하드웨어 이벤트 확인 알고리즘은 시스템의 스케줄에 의한 동작 지정시간이 아니면 이벤트를 중지하고, 지정 시간이면 하드웨어 이벤트 발생 여부를 확인한다. 하드웨어 이벤트가 발생되면 이벤트 정보를 메인서버로 전송하고, 가로등의 상태를 확인한다. 가로등에 이상이 있으면 메인서버에 이벤트 정보 전송을 반복하고, 정상이면 가로등의 상태 정보를 전송하면 스케줄 확인과정부터 다시 반복한다. 하드웨어 이벤트가 발생하지 않으면 모션센서 뿐만 아니라 다중센서 및 적외선 센서, 환경센서 등을 통해 이벤트를 감지한다. 예를 들어 모션센서를 통해 움직임을 감지하고, 움직임이 감지되지 않으면 스케줄 확인 과정부터 다시 반복한다. 움직임이 감지되면 메인서버로 메시지를 전송하고, 감성조명의 점등 및 가로등의 밝기를 100%로 점등제어 한다. 감성조명의 점등시간은 타이머 설정에 의해 사용자 임의적으로 설정이 가능하도록 구현하였다. 다시 움직임이 감지하여 스케줄에 의한 동작 지정시간을 확인과정부터 다시 반복한다. 움직임이 감지되지 않으면 가로등의 밝기를 70%로 점등제어 하고, 동작지정 시간을 확인한다. 이벤트 확인 알고리즘은 노면 결빙상태와 환경정보에 의한 감성조명 제어 방법에도 적용할 수 있도록 구성하였다.

4. 하이브리드 LED 가로등 시스템 제어 알고리즘

본 논문에서는 효율적인 데이터 및 제어신호 송수신을 위해 하이브리드 LED 가로등 시스템 제어 알고리즘을 설계하였다. 시스템 제어 알고리즘은 조도센서와 연동하여 야날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 빛의 밝기 변화에 따른 패턴제어를 한다. 변환된 주변의 빛이 기본 값 이하일 때까지 LED 가로등은 계속 점등을 하게 되고, 이상이 되면 자동 소모되어 모든 프로세스를 종료하고 불필요한 에너지 소모를 방지하는 LED 가로등의 에너지 효율을 높이도록

그림 9. 시스템 제어 알고리즘.

Fig. 9. System control algorithm.

설계하였다. 그림 9는 하이브리드 LED 가로등 시스템 제어 알고리즘을 나타낸다.

시스템 제어 알고리즘은 센서 데이터를 읽고, 배터리의 잔존용량을 확인하여 데이터 버스를 통해 메인 서버에 정보를 전송하여 저장한다. 가로등의 광속은 배터리 출력전압을 확인하여 출력 전압이 12V이상이면 100%, 11.5V 이상이면 70%, 나머지는 50%로 구분하여 제어 한다. 점등레벨을 1~10까지 10레벨로 구분하여 다시 점등제어 한다. 점등레벨이 10레벨이면 100%, 5레벨 이상이면 70%, 5레벨 이하이면 50%로 구분하여 광속을 제어한다. 배터리 출력전압은 11.5V 이상이면 배터리를 이용하여 가로등을 지속적으로 점등한다. 출력전압이 11.5V 이하이면 배터리 충전을 시작하고, 상시전원을 이용하여 가로등 점등을 시작하게 된다.

표 6은 조도 변화에 따른 점등레벨 분류를 나타낸다. 점

표 6. 점등 레벨의 분류.

Table 6. Classification of lighting level.

Lighting level	Illumination range	Lighting intensity
1	163 lx ~ 146 lx	50%
2	145 lx ~ 130 lx	
3	129 lx ~ 114 lx	
4	113 lx ~ 97 lx	
5	96 lx ~ 81 lx	70%
6	80 lx ~ 65 lx	
7	64 lx ~ 49 lx	
8	48 lx ~ 43 lx	
9	42 lx ~ 16 lx	100%
10	15 lx ~ 0 lx

그림 10. 메인페이지 구성.

Fig. 10. The main page configuration.

등레벨은 청천공(맑은날)을 기준으로 5월 일몰부터 일출까지 조도변화(3.0lx ~ 163.0lx)를 측정하여 분류하였다. 레벨에 따른 조도 범위는 하이브리드 LED 가로등 설치 장소에 따라서 초기 설치시 자유롭게 재설정 가능하다.

5. 모니터링 웹 서버

하이브리드 조명관리 시스템을 웹서비스를 목적으로 구현하기 위해 클라이언트에 센서로부터 게이트웨이를 통해 데이터를 수신하거나 실시간으로 센서 및 게이트웨이를 제어/관리하기 위해 호출하는 인스턴스 집합 API (Application Program Interface)는 클라이언트측 인터페이스 인스턴스를 관리하는 SmartConApiFactory 및 게이트웨이측 인터페이스 인스턴스를 관리하는 SmartConAPI로 구성하여 구현하였다. SmartConApiFactory을 통해 생성된 SmartConAPI는 실시간 접속 게이트웨이 및 센서, 동작노드 개수와 id 리스트, 주어진 노드와 주어진 게이트웨이에 속해 있는 노드의 실시간 상태정보를 가져오고, 원격제어를 하도록 구현하였다.

웹서비스를 위한 클라이언트의 페이지는 메인 및 가로등, 분전반, 스케줄, 고장 관리 페이지로 구분하여 설계하였다. 그림 10은 메인 페이지 구성을 나타낸다. 메인 페이지의 monitoringMain은 로그인 상태이면 가로등 분전반 및 게이트웨이 관리를 위해 monitoringMain 스크립트를 호출하여 페이지를 이동하고, 로그인되지 않은 상태이면 index 스크립트를 호출하여 로그인 페이지로 이동하도록 설계하였다. getCommonCode는 웹서비스에 필요한 코드 리턴을 하고, getNumOfActiveNodes는 활성화 노드 개수를 리턴 하도록 페이지를 설계하였다. 또한, getBoundInRect는 메인 페이지에서 표시해야하는 화면영역 계산을 위해 페이지를 설계하였다.

그림 11은 메인 페이지의 인터페이스를 나타낸다. 메인 페이지는 가로등 모니터링 및 제어, 에너지 관리 및 센서 운영설정 페이지로 구분하여 구현하였다. 가로등 모니터링 및 제어 페이지는 맵(map)을 통하여 직관적인 인터페이스를 제공하였고, 가로등과 분전반의 위치 및 전원상태와 동작 상태를 파악하여 위치이동이 가능하며, 시설물 등록 현황과 실시간 서버 접속 현황 및 고장진단 현황을 파악할 수 있는 맵 정보를 제공하도록 구현하였다. 또한, 설치 가로등 주변의 온도, 조도 및 움직임 감지 내용을 실시간 모니터링 하도록 구현하였다. LED등 및 게이트웨이 정

그림 11. 메인화면 인터페이스.

Fig. 11. Main Screen Interface.

보에서는 기본 정보 확인과 개별/전체적으로 LED등을 점등 제어하고 디밍 컨트롤을 통하여 밝기를 제어하도록 구현하였다. 실시간 고장진단 현황은 고장 발생 장치별(게이트웨이, 노드, 램프)의 실시간 고장진단 목록 확인 및 상세내역과 고장접수 처리 상황을 모니터링 하도록 구현하였다.

메인 페이지의 에너지 관리에서는 전월사용요금, 당월사용요금 및 전월대비 전기 사용요금 실시간으로 반영하여 모니터링이 가능하도록 구현하였고, 구간별(시간별, 일별, 월별, 년별) 전력사용량 대비 전기요금을 그래프로 시각화하여 구현하였다. 또한, 탄소 배출량 게이지를 통해 가로등이 동작할 때 발생하는 유해요소 확인 및 전일/금일 전기요금을 비교하여 전력요금 증감을 모니터링 할 수 있도록 구현하였다. 센서운영 설정에서는 센서(온도, 습도, 조도, 보행)의 임계치를 설정하여 측정값이 설정값 이상/이하이면 설치 가로등에 대하여 디밍제어 할 수 있도록 구현하였다.

III. 실험결과

본 논문에서 제안하는 하이브리드 조명관리 시스템의 에너지 절감 효과에 대한 효율성 검증을 위한 실험환경은 센서로부터 데이터를 센싱하여 지그비 모듈을 통해 게이트웨이로 센싱 데이터를 전송하는 SZ100S 모듈, 동작을 감지하여 데이터를 SZ100-S 모듈로 전송하는 sh300dth 센서모듈, 그리고 UART로 데이터를 수신 받아 지그비로 전송하고, 수신 데이터는 UART를 통해 MCU로 전달하는 지그비 모듈을 사용하였다. 그림 12는 본 논문에서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템을 적용하여 전력제어 및 통신제어 실험환경을 나타낸다.

그림 13은 분전함을 통한 LED 조명제어와 보행자의 안전 서비스를 위한 메인서버에서 설정된 실험조건의 모니터링 인터페이스를 나타낸다.

보행자 감지와 결빙상태, 환경정보 데이터의 감지 레벨을 이용하여 RGB LED Bar를 빠르게 점멸시켜 위험을 상기 시키도록 설정하였다. 도로 노면의 결빙상태는 비접촉식 적외선 레이저 다이오드를 이용하여 적외선 레이저를 송신하고, 노면에서 반사되는 값을 수신하여 반사율을

그림 12. 시스템 실험환경.

Fig. 12. System Experimental environment.

그림 13. 점등제어 모니터링 인터페이스.

Fig. 13. Lighting control monitoring interface.

전기적 신호 값으로 변환하였으며, 인터페이스에 노면상태로 값을 출력하였다. 효율적인 측정을 위해 적외선 레이저의 조사각도는 $45^\circ \pm 20^\circ$ 로 정하고, 노면과의 거리는 0.6m~1m 설치하였다.

기존 조명관리 시스템은 단순히 지정된 시간동안 점등하고 보행자 감지시 PWM (Pulse Width Modulation) 방식으로 디밍 조절을 하였고, 단순히 센싱 데이터를 비교하여 점등 제어하고 상시전원을 사용하기 때문에 에너지 소모 감소에 비효율적이었다. 그러나 제안된 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템은 스케줄을 추가하여 일출·일몰시간에 맞추어 자동 점멸하도록 설계하여 실험 조건을 설정하였고, 보행자 감지시 점등 레벨과 보행자 상황 및 가로등 설치 주변의 노면 결빙상태, 환경정보에 따른 감성조명 제어가 가능하도록 RGB LED를 추가하여 설정하였다. 또한, 상시전원과 신재생 에너지인 태양광 발전 전원을 이용하여 전원을 공급하도록 설정하여 상시전원을 거의 사용하지 않고, 기존의 조명관리 시스템과 비교하여 많은 에너지 절감 효과를 얻을 수 있었다.

표 7. 조명관리 시스템 비교.

Table 7. Comparison of lighting management system.

Division	Before	After
Type	Metal halides, 250W	LED, 200W
Number installed	1	20 in parallel
Power consumption (W)	272	225
Life (hr)	12,000	50,000
average illumination (lx)	14.0	23.9
luminous flux (lm)	10,064	11,893
Luminous efficacy	37 lm/W	70 lm/W
Mounting height	7.6m	7.9m
Luminaires angle	45 deg	0 deg
Power state	Line	Battery
Price per life	\$213.16 / y	\$211.90 / y

그림 14. 조명 기구당 평균 소비전력 (W).

Fig. 14. Average power consumption per luminaire (W).

표 7은 기존 조명관리 시스템과 제안된 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템 구성요소의 광도 및 전기적 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 광속을 기준으로 메탈 할라이드 램프 1개를 사용한 가로등을 10W LED 모듈 20개를 병렬로 연결한 가로등으로 대체하였을 경우, 소모전력은 20.8% 감소하였고, 조명기구의 수명은 76% 증가되는 것으로 측정되었다. 평균조도와 조명효율은 각각 70%, 89% 증가되었다. 등기구의 생명 주기당 연간 유지 보수 비용은 \$213.16에서 \$211.90로 6% 감소하였으나 조명기구 수명이 4.16배 차이 있기 때문에 최대 25%가 감소되었다.

그림 14는 조명 기구당 평균 소비전력 비교를 나타낸다. 조명 기구를 메탈할라이드 램프에서 LED 조명기구로 변경할 경우, 평균 소비전력은 상시전원 사용 시 272W에서 225W로 20.8% 감소하였고, 태양광 발전을 이용한 배터리 사용 시 229W에서 216W로 6% 감소되었다. 이때, 본 논문에서 제안하는 시스템은 천정공과 담천공에 따라서 차이가 있지만 배터리의 잔존용량이 충분하다면 상시전원을 전혀 사용하지 않기 때문에 에너지 소비를 현저히 줄일 수 있다.

기존의 조명관리 시스템은 메탈할라이드 램프를 사용하기 때문에 단순히 조도 데이터를 비교하여 PWM 방식에 의한 점등제어 및 상시전원을 사용하였다. 그러나 제안된 하이브리드 가로등 조명관리 시스템은 신재생 에너지인 태양광 발전을 이용하여 전원을 공급하고, 조도센서 및 적외

표 8. 에너지 효율 비교.

Table 8. Energy efficiency comparison.

Type	Consumption Power			Energy Saving Effects	Energy Charge Saving Effects	YSE Based on 100 Set	YSEC Based on 100set
	Daily	Monthly	Yearly				
Metal halides 250W * 2	5.44kw	165.46kw	1,985.6kw	-	-	198.56MWh	\$693,816.4
Power LED 200W using solar panel	2.25kw	68.43kw	821.25kw	58.63%	76.82%	82.125MWh = 116.345MWh	\$303,089.7 = \$390,726.7

• YSE: Yearly Saving Energy

• YSEC: Yearly Saving Energy Charge

선 센서, 환경센서를 조합하여 효율적으로 가로등을 점등제어 했기 때문에 전력소모를 현저히 줄일 수 있었다.

표 8은 메탈할라이드 램프를 사용한 조명관리 시스템과 제안된 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 소모전력과 에너지 절감 및 전력요금의 시뮬레이션 비교결과를 나타낸다. 표 7의 평균조도 결과에 따라서 보행자와 운전자가 느끼는 광속을 일치시키기 위해 가로등 등기구마다 메탈할라이드 램프는 250W 2개를 사용하였고, LED 모듈은 200W 1개를 사용하였다.

LED 점등제어 시스템에서 소비되는 전력을 비교하기 위해 1일 평균 10시간을 점등한다고 가정하면 기존의 점등제어 시스템은 상시전원을 사용하기 때문에 등주 한 개당 하루에 5.44KW의 전력을 소비하였고, 1개월간 165.46KW, 연간 1,985.6KW를 소비하였다. 그러나 태양광 발전을 이용한 하이브리드 점등제어 시스템은 태양 전지판을 통해 생산되는 전력을 배터리를 이용하여 점등제어 시스템에 전원을 공급하기 때문에 등주 한 개당 하루에 2.25KW의 전력을 소비하였고, 1개월간 68.43KW, 연간 821.25KW를 소비하는 결과를 얻었다. 태양광의 일조량에 따라서 차이가 있지만 전력 소비량은 58.63%~100%가 감소되었고, 전력요금은 76.82%~100%가 감소되었다. 가로등 100개를 운영한다면 연간 최소 116.345MWh의 전력소비와 최소 \$390,726 이상의 전력요금을 절감할 수 있기 때문에 제안하는 독립형 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 전력 소비에 따른 에너지 절감 효율성을 입증하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템 설계를 제안하였다. 제안된 독립형 태양광 발전을 이용한 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템은 유지보수 및 에너지 절감의 용이성과 새로운 기술을 통합하여 설계하였다. 또한, 기존 시스템의 문제점 해결을 위하여 신재생 에너지인 태양광 발전을 이용하여 하이브리드 컨트롤러를 동작시키고, 주간에는 PV 패널에서 생산되는 전력을 배터리에 충전하고, 야간에는 배터리를 방전시켜 LED 가로등에 전원을 공급하며, 전력 부족시 상시 전력을 공급하도록 설계하였다.

하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템의 효율성을 검증한 결과, 기존 조명관리 시스템과 비교하면 최소 58.63% 이상의 전력소비량 감소와 최소 76.82%의 전력요금이 감소되었다. 따라서 제안하는 하이브리드 LED 가로등 조명관리 시스템은 노드제어 기술의 적용에 따른 에너지 절감 및 예

산절감 효과를 얻을 수 있었다.

향후에는 하이브리드 LED 가로등 운용에 적합한 전력수요를 산정하고, 배터리 제원을 산출한다면 신재생 에너지를 효율적으로 사용할 수 있고, 과충전 및 과방전에 의한 배터리 수명을 연장시킬 수 있을 것이다. 또한, 사용자 요구에 따른 다중센서의 사용으로 인해 다양한 기능의 확장이 가능하고, 대규모 거주 지역의 조명관리 시스템을 대체한다면 설치 운용비용을 절감할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] M. Ali, M. Orabi, E. Abdelkarim, J. A. A. Qahouq, and A. E. Aroudi, "Design and development of energy-free solar street LED light system," *Innovative Smart Grid Technologies - Middle East*, pp. 1-7, Dec. 2011.
- [2] W. Yongqing, H. Chuncheng, Z. Suoliang, H. Yali, W. Hong, and W. Yongqing, "Design of solar LED street lamp automatic control circuit," *International Conference on Energy and Environment Technology*, vol. 1, pp. 90-93, 2009.
- [3] M. Becherif, M. Y. Ayad, A. Henni, M. Wack, and A. Aboubou, "Hybridization of fuel cell, solar panel and batteries on the DC link for street lighting application," *36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2010)*, pp. 2795-2802, 2010.
- [4] S. T. Oh, J. J. Lee, and Y. C. Jung, "Solar tracking system using LED sensor," *The Korea Institute of Electronic Communication Society*, vol. 3, no. 1, pp. 248-252, May 2009.
- [5] H. J. Chiu, Y. K. Lo, C. J. Yao, and S. J. Cheng, "Design and implementation of a photovoltaic high-intensity-discharge street lighting system," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 12, pp. 3464-3471, Dec. 2011.
- [6] J. H. Gang, "LED lighting industry reaching the turning point to 2014," *Korea Eximbank*, vol. 2014-02, Feb. 2014.
- [7] F. Leccese, "Remote-control system of high efficiency and intelligent street lighting using a zigbee network of devices and sensors," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 1, pp. 21-28, Jan. 2013.
- [8] W. Guijuan et. al., "A new intelligent control terminal of solar street light," *Intelligent Comutation Technology and Automation (ICICTA)*, pp. 321-324, Mar. 2011.
- [9] A. Lavric, V. Popa, I. Finis, C. Males, and A. M. Gaitan, "An original lighting monitoring and control system using wireless sensor networks," *Use of Modern Information and Communication Technologies*, pp. 167-173, 2012.
- [10] M. Popa and A. Marcu, "A solution for street lighting in smart cities," *Journal of CJWCE*, pp. 91-96, 2012.
- [11] E. Pilar and A. Ignacio, "An easy to deploy street light control system based on wireless communication and LED technology," *Journal of UCaml & IWAAL Sensors Open Access*, pp. 6492-9523, May 2013.
- [12] W. H. Lee, M. Y. Lee, J. H. Lee, and H. J. Lee, "Calculation of capacity of solar cell and battery for stable solar system design," *Journal of Korea Academic-industrial Technology Society*, vol. 6, no. 5, pp. 396-400, 2005.
- [13] S. Y. Kang, Y. G. Lee, and K. H. Kim, "The improved efficiency study of PV system for the solar lamp lighting," *Conference Journal of the Korean Institute Electrical Engineers*, pp. 304-308, Nov. 2002.

홍 성 일

2007년 세명대학교 컴퓨터과학과 졸업(이학사). 2009년 세명대학교 대학원(교육학석사). 2009년~현재 세명대학교 대학원 박사 과정. 관심분야는 SOC, CAD, CAD 알고리즘, USN, RTOS 및 내장형 시스템, 임베디드 시스템, 조명 제어 시스템.

인 처 호

1985년 한양대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 한양대학교 대학원(공학석사). 1996년 한양대학교 대학원(공학박사). 1992년~현재 세명대학교 컴퓨터학부 교수. 관심분야는 SOC, CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템, 임베디드 시스템, 조명 제어 시스템.