

태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템 설계

The Hybrid Road Lighting Control System Design using Solar-Light Generation

홍성일*
(Sung-il Hong)

인치호**
(Chi-ho Lin)

요약

본 논문에서는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 제어 시스템 설계를 제안한다.

제안하는 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템은 태양광 발전을 이용하여 하이브리드 컨트롤러를 통해 전원을 공급하고 도로조명을 점등제어가 가능하도록 설계한다. 전력 부족시 상시전력을 공급하도록 제어하고 인체 감지시 자동 조명 제어가 되도록 게이트웨이는 도로조명에 zigbee를 이용하여 제어명령을 전송한다. 미리 설정해 놓은 타임 스케줄에 의해 시스템의 상태를 결정하고 동작시키는 점등제어 알고리즘을 적용한다.

본 논문에서 제안하는 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 효율성 분석결과, 등주 당 하루에 129.6W의 전력소비를 하였고 1개월간 3.8KW, 연간 47.3KW를 소비하였다. 결과적으로 기존의 점등제어 시스템보다 76.2%의 전력소비량 감소와 76.8%의 전력요금에 감소되어 에너지 효율을 높일 수 있었다.

핵심어 : 하이브리드, 도로조명, 점등제어, 태양광, 마이크로 컨트롤러 유닛, 게이트웨이

Abstract

In this paper we proposed the design of the hybrid road lighting control system using solar-light generation.

The proposed hybrid road lighting control system be power offer through hybrid controller using Solar-Light Generation, and it is designed so that it can control lighting up. To control supply of continuous power when during power shortages. And the gateway be transmit control command using zigbee to road lighting to ensure that automatic lighting control on human sensing. In this case, the gateway is apply the lighting control algorithm that decisions to the status of the system by a pre-set time schedule and be able to operate.

In this paper, the proposed efficiency analysis results of a hybrid road lighting control system was consumed power of 129.6W per day, 3.8KW per month, 47.3KW per annual. As a result, it were able to increase the energy efficiency than existing lighting control system by reduce power consumption of 76.2% and the electricity prices of 76.8%.

Key words : Hybrid, Road lighting, Lighting-control, Solar-light, MCU, Gateway.

† 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(I100041)으로 수행된 연구결과임.

* 주저자 : 세명대학교 컴퓨터학부

** 공저자 및 교신저자 : 세명대학교 컴퓨터학부 교수

† 논문접수일 : 2012년 12월 12일

† 논문심사일 : 2013년 2월 5일

† 게재확정일 : 2013년 2월 13일

1. 서 론

현대도시는 최근 들어 전 세계적으로 기후변화에 따른 에너지 저소비형 도시를 형성하기 위해 친환경 도로조명을 이용한 야간경관에 대한 요구가 늘어가고 있다. 세계 램프 연간 사용량은 3 천억 개이며 이로 인한 연간 소비전력은 2조 1천억 KWh로 전체 전력의 12-15%를 소비하고 있으며 조명사용으로 연간 17 억 톤의 CO₂가 배출되고 있어 태양과 바람에너지 등의 신 재생에너지를 활용한 친환경 도로조명의 개발과 설치가 확대되고 있다. 미국, 일본, 중국을 비롯한 세계 각국에서는 하이브리드 도로조명의 개발과 설치가 급증하고 있으나 대부분 풍력발전기, 태양전지판, 램프를 수직으로 나열한 형태의 도로조명으로 신 재생에너지의 활용가치를 중시한 기능 중심적인 경향이 있다. 국산 하이브리드 도로조명의 확산에 기여하고 있는 국내기업이 개발·설치한 대부분의 하이브리드 도로조명 역시 해외사례와 유사하게 풍력발전기, 태양전지판, 램프가 나열된 형상으로 디자인을 고려하기 보다는 신 재생에너지 사용에 의미를 둔 기술 중심의 도로조명이다. 차세대 신재생 에너지로 가장 각광받고 있는 에너지가 태양으로 부터 발산되는 에너지를 활용하는 태양광 발전과 태양열 발전이다. 이 중에서 태양광 발전은 정부가 추진하고 있는 친환경적 경제성장 발전의 원동력으로 주목받고 있다. 에너지 산업표준에서 볼 때 아직은 미미한 수준이지만 태양에너지 시장은 세계 원유 생산 속도보다 10배 빠른 성장을 보였다. 2020년까지 연간 25%씩 성장한다고 보았을 때 2020년에 태양에너지 용량은 10만6000MW에 달하게 될 것이다. 이는 핵발전소 30~40개가 낼 수 있는 전력량이기 때문에 태양광을 이용한 도로조명의 기술 개발이 필요하다. 태양에너지는 에너지원이 방대하여 자원 고갈이 없으며 무공해 에너지원으로서 누구라도 전기를 공급할 수 있고 여러 가지 발전 규모로 이용이 가능하다. 그러나 에너지 밀도가 매우 적기 때문에 태양전지를 통해 큰 전력을 얻기 위해서 비교적 큰 면적이 필요하여 비용이 상승하고 기상조건 및 설치장소에 따

라 발전량이 변함으로 일조량이 부족한 경우에는 소등이 되는 단점이 있다[1-3].

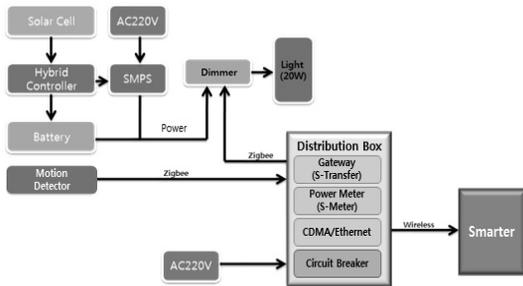
기존의 관련 연구들은 분산전원 소스가 앞으로 점차적으로 사용이 늘어나기 때문에 전력전자는 빠른 응답 및 자율제어를 사용하여 신재생 에너지의 처리에 이점을 제공할 수 있어야 한다. 연료 전지, 태양 광 발전 장치 및 스토리지 배터리 소스는 하이브리드 전력구조에 큰 힘을 생산하고 있다. 멀티 소스 충전기의 무정전 전원 소스 부분은 동적 모델링, 제어전략 및 전체 장치의 에너지 관리 관점에서 처리되었다[4].

원격제어 시스템 관리 및 도로조명 시스템의 효율성을 최적화하기 위하여 고급 인터페이스 및 제어 아키텍처를 제공하고 보다 효율적인 도로조명 시스템 관리를 가능하게 하는 zigbee기반 무선장치를 사용했다. 원하는 시스템 매개 변수를 제어하고 센서를 조합하여 정보는 zigbee 송신기 및 수신기를 사용하여 전송하고 도로조명의 상태를 확인하고 적절한 조치를 취하여 제어단자로 전송한다[5]. 태양 광 도로 조명의 새로운 지능형 제어는 현재 일반 도로조명 충전과 방전, 관리 컨트롤러 및 무선 통신 기술을 결합한다. 그것은 합리적인 배터리 충전 또는 방전을 달성하기 위해 불확실한 시스템 제어를 할 수 있는 퍼지제어 이론을 사용한다. 또한, 네트워크와 독립적으로 네트워크에서 실행가능하기 때문에 시스템의 안정성을 보장한다[6].

본 논문에서는 문제점 해결을 위하여 선행연구를 기반으로 신재생 에너지원인 태양광 발전과 LED(Light Emitting Diode) 조명을 사용하여 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 설계를 제안하고 동작을 확인하여 에너지 효율성을 증명한다. 제안하는 시스템은 기존 시스템과 비교하여 초기 설치비용이 많이 소요되지만 다중센서를 통한 점등제어와 태양광 발전을 이용한 배터리의 충·방전을 통해 전원공급을 하여 상시전원 사용을 거의 하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 도로조명과 주변 환경정보에 대한 모니터링이 가능하여 관제 시스템을 통한 시스템의 동작환경 설정 및 제어가 가능하다.

II. 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템

본 논문에서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템은 주간에 태양전지에 의해 전력이 생산되며, 배터리의 충전회로를 거쳐 충전하고 야간에 배터리는 방전회로와 LED 드라이버를 거쳐 LED를 점·소등 제어가 가능하도록 하이브리드 컨트롤러를 활용하여 LED 도로조명의 전력을 생산된 신재생에너지를 활용하여 운용하도록 하고, 전력 부족시 상시전력을 활용하여 운용하도록 설계한다. <그림 1>은 본 논문에서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 기본 구성을 나타낸다.



<그림 1> 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템
<Fig. 1> Hybrid road lighting control system

1. 태양 전지판과 하이브리드 컨트롤러

태양 전지판은 주간에 태양광에 의하여 생산되는 전력을 공급하고 하이브리드 컨트롤러는 태양 전지판에서 생산되는 에너지를 전기에너지로 전환하여 배터리에 충전하며 야간에는 방전을 통하여 도로조명에 전력을 공급한다. 이때 전력 부족 상태가 발생하면 하이브리드 컨트롤러는 SMPS (Switching Mode Power Supply)에 상시전원을 공급하도록 제어한다. 소규모 독립형 태양광발전은 최근 대체 에너지에 대한 관심이 증가되면서 다양한 형태의 응용 제품들이 만들어 지고 있다. 그러나 설계 방법이 체계화되지 않아 태양전지 및 배터리가 필요이상으로

크게 설계되거나 반대로 너무 작게 설계되어 동작이 불안정해지고 잦은 고장의 원인이 되고 있다. 그러므로 독립형 태양광 발전은 낮 시간동안 태양전지를 이용하여 배터리에 충전된 에너지를 일몰 후 사용해야 하므로 부하용량에 따른 태양전지 용량, 배터리 용량을 산정해야 한다. 배터리 용량을 산정함에 있어서는 기후 특성상 태양광 발전을 할 수 없는 부조일수를 고려하여야 한다[7-8].

$$1\text{일 부하 소비 전력량}[Wh] = \text{부하 전력}[W] \times 1\text{일 사용 시간}[h] \quad (1)$$

$$\text{태양전지 용량}[Wh] = \frac{1\text{일 부하 소비 전력량}[Wh]}{1\text{일 평균 일조 시간}[4h]} \quad (2)$$

$$\text{배터리 용량}[Ah] = \frac{1\text{일 부하 소비 전력량} \times \text{부조일수}}{\text{배터리 전압} \times \text{충방전 효율}(0.85) \times \text{방전 심도}(0.6)} \quad (3)$$

본 논문에서 사용하는 태양전지의 용량과 배터리 용량은 수식 (1-3)을 이용하여 산정하였고 <표 1>은 태양전지판과 하이브리드 컨트롤러의 제원을 나타냈다.

<표 1> 태양전지판과 하이브리드 컨트롤러의 제원
<Table 1> Solar panels and hybrid controller specifications

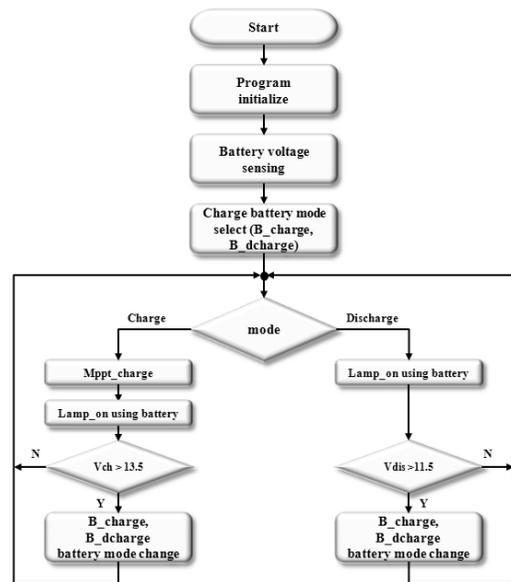
Production	Features and specifications
Solar panel (Battery included)	Power supply of road lighting through the charging and discharging. - Solar Plate : DC12V/10W - Solar Controller : DC12V/10A - Battery : DC12V/30A
Hybrid Controller	The charging energy conversion into electrical energy by solar panels (DC12V). Automatically permanent power supply switched when charge power shortages. Transfer possible of accumulation capacity data through the RS232 communication. - DC12V/2A

태양전지판과 배터리는 충·방전을 통하여 도로조명에 전력 공급을 하며 Solar Plate는 DC12V/10W의

전력을 생산하고 Solar Controller는 DC12V/10A가 출력되도록 제어한다. 배터리는 DC12V/30A의 용량을 사용한다. 하이브리드 컨트롤러는 태양 전지판에 의한 충전 에너지를 DC 12V의 전기에너지로 전환하고 충전 전력 부족 시에는 자동으로 상시 전원으로 전환을 한다. 이때 RS232 통신을 통하여 충전 용량에 대한 데이터를 전송하고 DC 12/2A의 전원을 사용한다. 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명에서 사용하는 배터리는 충전하면 잔존 용량(SoC: State of Charge)의 증가와 함께 전압이 상승하고 방전시 반대로 전압이 감소하는 특성을 갖고 있다. 태양광 도로조명 설계시 배터리의 특성을 고려하여 과충전과 방전을 방지하는 제어가 필요하다[8]. 태양광 도로조명에서 사용하는 배터리는 12V 100Ah 1개를 연결하여 사용한다. 이 경우 초기치를 모두 100% 상태에서 방전을 개시하고 하루 동안 방전량이 60Ah라면 40%의 잔존용량을 갖게 되어 전압은 11V정도를 나타낸다. 용량이 40%인 배터리 전압을 V_1 , 70%인 배터리 전압을 V_2 라고 하면 $V_2 \geq V_1$ 이 된다. 따라서 제안된 태양광 충·방전 제어 알고리즘을 이용하여 제어할 경우 태양전지에 의한 발전량은 일반적인 경우보다 증가하게 된다. 또한 제안된 시스템에서 사용하는 배터리는 하루에 충전 및 방전이 각각 1회씩 반복된다. 만약 제안된 시스템에 충·방전용 배터리를 별개로 사용한다면 하루 동안 충전 혹은 방전중 한 가지만 1회씩 이루어지게 되어 충·방전 횟수를 50% 정도 감소시킬 수 있으나 비용증가의 문제점이 있다.

<그림 2>는 하이브리드 컨트롤러를 이용하여 생산되는 충전 및 방전 전력을 제어하는 알고리즘을 나타내었다. 태양광 도로조명의 특성상 충·방전이 각각 다른 시간에 이루어지면서 24시간 동작하게 한다. 초기에 하이브리드 컨트롤러는 배터리의 전압을 각각 검사하여 배터리의 충전상태 및 방전상태를 설정한다. 선택 방법은 단지 전압이 낮은 배터리를 충전용 배터리(B_charge), 나머지 배터리를 방전용 배터리(B_dcharge)로 설정한다. 배터리 설정 이유는 태양광 발전에 의한 충전전류를 크게 하여 발전효율을 향상시킬 수 있고, 방전에도 유리하기

때문이다. 전압이 동일한 경우는 임의적으로 배터리를 B_charge와 B_dcharge로 설정하도록 설계한다. 그리고 방전종료 전압(V_{dis})은 11.5V, 충전종료 전압(V_{ch})은 13.5V로 설정하여 배터리의 과충전과 방전으로 인한 도로조명의 오동작이 발생하지 않도록 한다. 알고리즘에서 V_{charge} 는 충전상태의 배터리 전압을 의미하고 $V_{discharge}$ 는 방전상태의 배터리 전압을 의미한다.



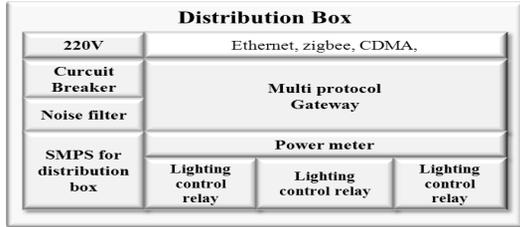
<그림 2> 전력제어 알고리즘
<Fig. 2> Power control algorithm

2. 게이트웨이와 분전함

다중 프로토콜 게이트웨이의 주요 기능중 하나는 센서노드와 통신을 수행하는 인터페이스로, 2.4GHz 대역의 zigbee통신을 이용하여 센서노드에 명령을 하달하거나 센서노드로 부터 데이터를 수신한다. 그리고 통합 관제실과의 통신을 위해 ethernet과 zigbee 통신 방법을 이용하여 연동을 하고 향후 CDMA(Code Division Multiple Access) 통신이 지원 되도록 설계한다. <그림 3>은 분전함의 구성을 나타내었다.

게이트웨이는 인체 감지시 감성조명 자동 연출

및 스케줄에 의한 자동 조명 제어가 되도록 도로조명에 zigbee를 이용하여 제어명령을 전송한다.



〈그림 3〉 분전함의 구성
 〈Fig. 3〉 Distribution box composition

파워미터는 게이트웨이를 통하여 도로조명에서 소모되는 전력 소비량을 통합 관제실로 전송하고, 마그네틱 스위치를 이용한 분전함의 AC전원을 제어한다. 유사시에는 자체 타이머를 이용하여 독립적인 제어 기능을 수행하도록 설계한다.

〈표 2〉는 제안하는 점등제어 시스템에서 사용하는 게이트웨이와 분전함의 기능 및 제원을 나타내었다. 분전함은 게이트웨이와 파워미터, 릴레이, 통신모듈 등의 회로보호를 위하여 전기 보호 회로를 내장하고 방수 및 방진에 대한 피해를 막을 수 있도록 설계한다. 이때 파워미터는 펄스출력을 위해 AC220V/30A를 사용하고 릴레이는 AC220V/5A를 사용하며 누전시 전력공급을 차단하기 위해 차단기를 사용한다. 게이트웨이의 전원은 AC 220V/3A (60Hz)를 사용하고 MCU(Micro Control Unit)는 ARM915T(S3C2440), OS는 Linux를 이용하여 설계한다. 데이터 송수신을 위한 인터페이스는 zigbee와 ethernet방식을 이용하고 향후 CDMA와 GPS(Global Positioning System)를 이용할 수 있도록 설계한다. 게이트웨이의 동작온도는 설치환경을 고려하여 -20℃에서 75℃로 제한한다.

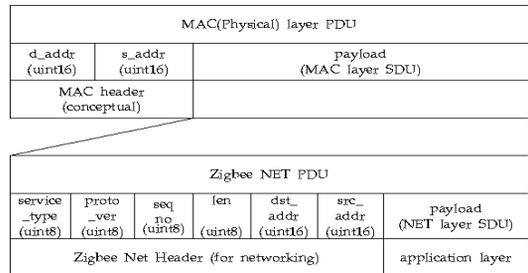
MCU와 zigbee 모듈은 UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)를 이용하여 연동하고, 통신방식은 RS-232를 사용한다. zigbee 모듈과 게이트웨이 간의 연결은 1.27mm 커넥터로 탈부착 할 수 있는 형태로 한다.

〈표 2〉 게이트웨이와 분전함
 〈Table 2〉 Gateway and distribution box

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

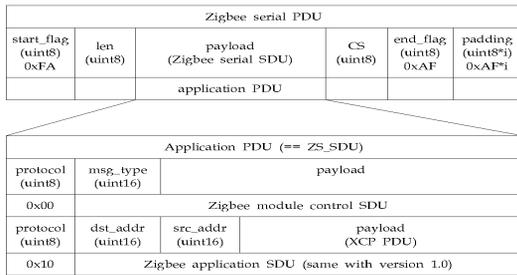
zigbee모듈의 안테나는 5dB 안테나를 사용하고 Chip은 MG2455로 일명 망고 칩을 사용한다. 게이트웨이에서 사용하는 zigbee 무선 네트워크의 MAC(Media Access Control)은 physical link layer에 해당하는 레이어(MAC layer PDU)로 1:1의 네트워크 구성 및 데이터 송·수신을 담당한다.

〈그림 4〉는 MAC을 이용하여 네트워크 형성을 위해 정의한 전송 메시지 포맷을 나타내었다. service_type는 서비스 구분자로 사용하기 위해 0xF1의 값을 사용하였고 protocol_ver는 프로토콜 버전을 의미한다. 메시지의 최종 목적지 주소와 최초 송신자 주소를 위해 dst_addr와 src_addr를 사용하였으나 MAC 메시지의 송·수신자와 다를 수 있다. 이때, zigbee 모듈과 시리얼 통신 상태를 체크하고 zigbee 모듈의 설정정보를 알아내거나 세팅하기 위해 zigbee serial PDU 포맷을 설정한다.



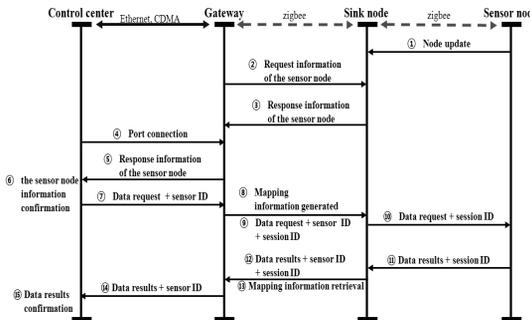
〈그림 4〉 전송 메시지 포맷
 〈Fig. 4〉 Transfer message format

<그림 5>는 zigbee serial PDU의 포맷을 나타 내었다. zigbee 모듈과 MCU의 통신 상태를 확인하기 위해 요청을 하면 MCU에서는 zigbee 모듈로 msg_type 값 0x00을 전송하고, 정상일 경우는 zigbee 모듈로 부터의 응답시 msg_type 값 0x01과 version 필드에 현재 사용하고 있는 zigbee USN (Ubiquitous Sensor Network) 모듈의 버전정보 0x11(버전 1.1)이 함께 MCU로 전송한다. zigbee 모듈의 설정정보 요청 시에는 msg_type 값 0x10과 format 필드의 기본 값 0x00을 MCU에서 zigbee 모듈로 전송한다. zigbee 모듈의 설정정보 응답 시에는 msg_type 값 0x11을 MCU로 전송한다. 이때, zigbee_addr, channel, pan_id, net_addr, tx_power 필드를 통해 설정 값을 함께 전송한다.



<그림 5> zigbee serial PDU의 포맷
<Fig. 5> zigbee serial PDU format

<그림 6>은 게이트웨이의 제어 흐름을 나타내었다.



<그림 6> 게이트웨이의 제어흐름
<Fig. 6> Gateway control flow

3. 모션센서와 LED 조명

모션센서는 최대 감지거리가 25M가 되도록 하였고 게이트웨이에 센싱 데이터 값을 전송하기 위한 zigbee 통신 모듈과 센서노드의 동작을 위해 AC220/0.15A의 전원을 사용하였다. 센서노드는 설치환경을 고려하여 10,525MHz의 주파수를 사용하고 동작온도는 -20℃에서 +55℃로 설정한다. 하이브리드 도로조명은 인체 감지시 보행자의 통행을 고려하여 10W LED 모듈 4개를 사용하였고 모듈당 3.3V/370mA의 전력을 소모하기 때문에 DC12V/2A의 전원을 사용한다. LED의 밝기를 자동으로 조절하기 위하여 사용하는 Dimmer는 DC12V/1.5A의 전원을 사용한다. 인체 감지시 감성조명의 연출을 위하여 RGB LED Bar 3개를 사용하고 모듈당 DC24V/15W의 전력을 소모한다. RGB LED Bar를 제어하기 위한 RGB Controller는 DC12V/24V 겸용을 사용하고 DMX512 제어가 가능하다. LED 모듈과 RGB LED Bar에 전원 공급을 하는 SMPS는 LED 모듈에 DC12V/3.2A를 공급하고 RGB LED Bar에는 DC24V/2.5A를 공급한다. <표 3>은 제안하는 점등제어 시스템에서 사용하는 모션센서와 LED 모듈의 제원을 나타내었다.

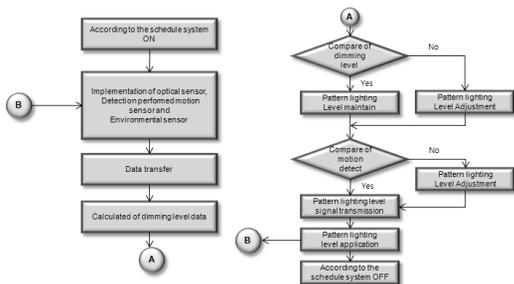
<표 3> 모션센서와 LED 모듈
<Fig. 3> Motion Sensor and light

Production	Features and specifications
Motion Sensor	Maximum detection distance : 25M - AC220/0.15A - Frequency : 10,525MHz - Operating Temp. : -20℃ ~ +55℃
LED light module	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)

4. 하이브리드 도로조명의 점등제어 알고리즘

점등제어 알고리즘은 조도센서와 연동하여 야간 로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 빛의 밝기 변화에 따른 패턴제어를 한다. 변환된 주변의 빛이 기본 값 이하일 때까지 LED는 계속 점등을 하게 되고, 이상이 되면 조명은 자동 소등되어 모든 프로세스를 종료하고 불필요한 에너지 소모를 방지하는 LED 조명기기의 에너지 효율을 높인 방법이다. <그림 7>의 점등제어 알고리즘은 미리 설정해 놓은 타임 스케줄에 따라서 시스템의 상태를 결정하고 동작한다.

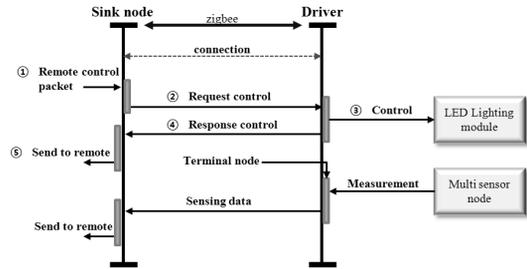
도로조명에 설치한 조도센서로 광량을 측정하고, 모션센서를 통해 감지를 시작하여 데이터 버스를 통해 MCU로 전달한다. MCU에 있는 제어 시스템은 보정을 통해 미리 설정된 제어방식에 따라 신호 값을 이용하여 조광레벨을 계산하고, 결과를 비교하여 패턴점등 레벨유지 여부를 결정한다. 이때, 광량 감지와 동작감지에 따른 데이터를 기존 측정값과 비교하여 패턴점등 레벨 조정 여부를 결정하게 된다. 따라서 효율적으로 데이터와 제어신호 송수신을 위해, 센서 데이터 처리를 위한 점등제어 알고리즘을 적용한다.



<그림 7> 점등제어 알고리즘
<Fig. 7> Lighting control algorithm

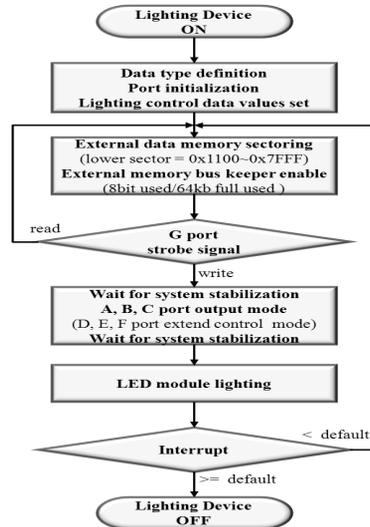
<그림 8>는 알고리즘 적용시 싱크노드와 센서노드, LED 모듈 사이의 점등제어 신호의 흐름을 나타내었다. 멀티 센서 노드에서 측정된 센싱 값들은 항시 터미널 노드로 전송되고 다시 싱크 노드로 전송

된다. 싱크노드에서는 원격제어를 위하여 센싱 값들을 게이트웨이로 전송하게 된다.



<그림 8> 점등제어 신호의 흐름
<Fig. 8> Lighting control signal flow

<그림 9>은 하이브리드 점등제어 시스템에서 사용하는 LED 모듈의 동작 상태를 확인하기 위한 제어 프로그램의 흐름을 나타내었다. MCU는 제어 흐름 변경을 용이하도록 ATmega128을 사용하였고 LED 드라이버에 제어 프로그램을 작성하여 다운로드 하였다.

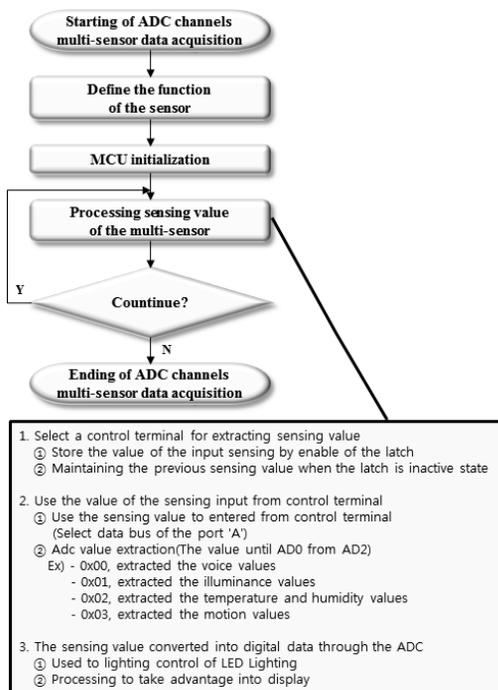


<그림 9> 제어프로그램의 흐름
<Fig. 9> Control program flow

LED 모듈 점등제어 프로그램의 흐름은 LED 모듈의 입출력 데이터의 유형을 정의하고, I/O 포트를

초기화 하여 조명 데이터 값을 설정한다. 데이터 메모리를 사용하기 위하여 로우 섹터 0x1100 에서 0x7FFF를 지정하고, 64kb 전체를 사용하기 위해 메모리 버스 키퍼를 활성화 한다. 포트 G의 스트로브 신호가 읽기 상태이면 섹터 지정과 버스 키퍼 활성화를 하고, 쓰기 상태이면 동기화 신호 처리를 통한 시스템 안정을 유지시킨다. 동기화 신호처리 후, 포트 A, B, C를 출력 모드로 변경하고, 시스템 안정화를 위하여 딜레이 시켰다가 LED 모듈의 점등제어를 시작한다. 이때, 포트 D, E, F는 LED 모듈이 추가적으로 확장 되었을 때, 입출력 포트의 제어를 위해 사용 여부를 결정한다. 마지막으로 인터럽트의 발생 여부를 확인하여 기준 값 이하이면 메모리의 섹터 분할과 버스 키퍼 설정부터 진행하고, 그렇지 않으면 LED 모듈을 소등한다.

<그림 10>은 LED 조명기기를 점등제어하기 위해 ADC 채널이 다중센서 플랫폼의 센서로부터 데이터를 획득하는 흐름을 나타내었다.



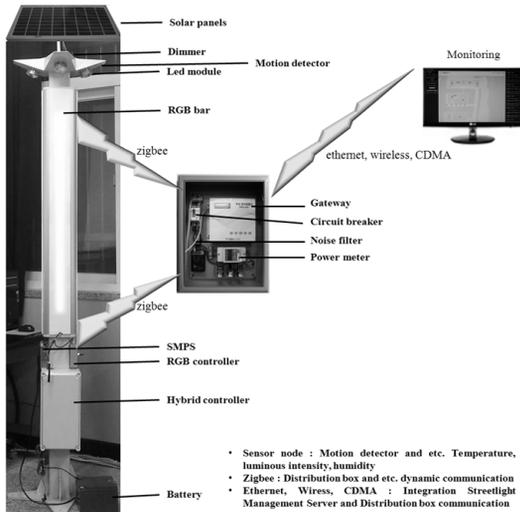
<그림 10> 센싱 데이터 획득 흐름
<Fig. 10> Sensing data acquisition flow

다중 센서의 센서노드로 부터 입력되는 센싱값 변화에 따라서 각각 센싱 값을 입력받고 ADC를 통해 디지털 데이터로 변환한다. 프로그램 일부를 변경하여 온도 및 다중센서를 이용한 제어도 가능하다. sel5 selection에서는 ATmega128과의 인터페이스에서 센싱값을 추출하기 위한 제어단자를 선택하고 래치를 활성화시켜 입력되는 센싱값을 저장한다. 이때 래치가 비활성화 상태면 이전의 센싱값을 유지시킨다. adc selection에서는 제어단자로부터 입력되는 센싱값을 사용하기 위해 포트 A의 데이터버스를 선택한다. 데이터버스를 선택하기 위한 AD2 부터 AD0의 값은 0x01이면 ADC0은 cds_adc 값을 추출하고, 0x02이면 lm35_adc 값을 추출한다. 또한 0x03과 0x00이면 motion_adc와 voice_adc값을 추출한다. adc_value에서는 각각의 센서로 부터 측정된 센싱 값을 디지털 값으로 변환하여 LED 조명기기 점등제어에 사용하고 디스플레이에 활용할 수 있도록 처리한다.

III. 실험결과

본 논문에서 제안하는 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 효율성 검증을 위한 실험환경은 센서로부터 데이터를 수집하여 zigbee 모듈을 통하여 게이트웨이로 센싱 데이터를 전송하는 SZ100S 모듈, 동작을 감지하여 데이터를 SZ100-S 모듈로 전송하는 sh300dth 센서모듈, 그리고 UART로 데이터를 수신 받아 zigbee로 전송하고 zigbee 수신 데이터를 UART를 통해 MCU로 전달하는 zigbee 모듈을 사용하였다. <그림 11>는 본 논문에서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템을 적용하여 전력제어 및 통신제어 실험환경을 나타내었다.

실험환경에 대한 설정으로는 기본 조명의 밝기를 50%로 지정하고 1월 1일부터 12월 20일까지 일몰 이후부터 익일 일출까지 점등되도록 지정하였기 때문에 점등 적용시간은 의미를 두지 않는다. 하이브리드 도로조명의 점등 시간 동안 보행자의 안전 서비스를 제공하기 위하여 보행자가 인지되면 조명



〈그림 11〉 시스템 실험환경
 〈Fig. 11〉 System Experimental environment

의 밝기를 100%로 조정하고 감성조명을 위한 RGB LED Bar를 빠르게 점등 시키도록 설정 하였다. <그림 12>은 분전함을 통한 LED 조명제어와 보행자의 안전 서비스를 위한 설정 내용을 나타내었다.



〈그림 12〉 점등제어 설정 프레임
 〈Fig. 12〉 Lighting control settings frame

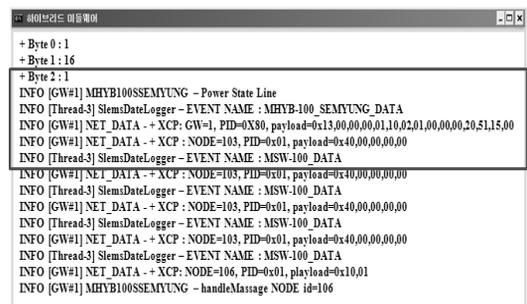
<그림 13>는 설정 내용에 대한 모니터링 상태를 나타내었다. 도로 결빙상태와 환경정보에 대한 RGB LED Bar를 빠르게 점멸시켜 위험을 상기 시키도록 하는 감지설정 내용의 모니터링 상태를 나타내었다.

<그림 14>는 하이브리드 도로조명 점등시 상시

전원을 사용할 경우 제어를 위한 패킷 수신 상태를 미들웨어를 통하여 측정하여 결과를 나타내었다.



〈그림 13〉 점등제어 모니터링 프레임
 〈Fig. 13〉 Lighting control monitoring frame

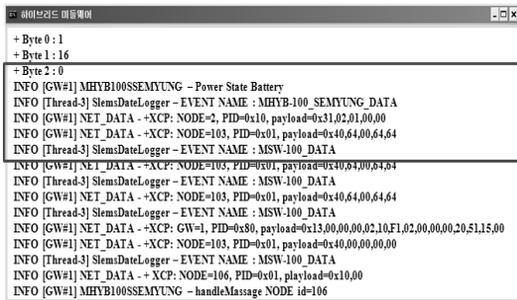


〈그림 14〉 패킷 수신 상태(전기)
 〈Fig. 14〉 Packet reception status(electricity)

배터리 충전시 상시전원을 사용하는 경우 Byte 2의 값 1을 MHYB-100가 수신하고 게이트웨이에서는 통합 관제실로 현재의 전원공급 정보 (MHYB-100_SEMYUNG_DATA)와 하이브리드 도로 조명을 점등하기 위한 데이터는 PID(Proportional Integral Derivative)를 0x80하여 payload 값을 전송한다. 이때, 센서노드의 감지 데이터는 변화가 없기 때문에 MSW-100을 통해 측정된 payload 값 (MSW-100_DATA) 0x40은 게이트웨이를 통하여 통합 관제실로 전송된다.

<그림 15>은 하이브리드 도로조명 점등시 배터리 전원을 사용할 경우 제어를 위한 패킷의 수신 상태를 미들웨어를 통하여 측정하여 결과를 나타내

었다. 배터리 충전시 완료 후 배터리 전원을 사용하는 경우 Byte 2의 값 0을 MHYB-100가 수신하고 게이트웨이에서는 통합 관제실로 현재의 전원공급 정보를 전송한다. 이때, 센서노드의 감지 데이터는 변화가 발생하면 MSW-100을 통해 측정된 payload 값을 게이트웨이를 통하여 통합 관제실로 전송되고, 하이브리드 도로조명을 점등제어하기 위한 데이터는 PID를 0x10으로 변경하여 payload 값을 게이트웨이를 통하여 전송한다.



(그림 15) 패킷 수신 상태(배터리)
(Fig. 15) Packet reception status(battery)

기존 LED 도로조명의 기능은 단순히 지정된 시간동안 점등하고 보행자 감지시 PWM(Pulse Width Modulation) 방식으로 디밍 조절을 하여 밝기를 조정하였으며 상시전원을 사용하여 에너지 소모 감소에 비효율적이었다. 그러나 제안하는 하이브리드 도로조명은 스케줄을 추가하여 일출·일몰시간에 맞추어 자동으로 점등하도록 기능을 설계하였으며 보행자 감지시 디밍에 의한 밝기조절과 보행자 상황 및 하이브리드 LED 도로조명이 설치된 주변의 노면 결빙상태와 주변의 환경 정보에 따른 감성조명 제어가 가능하도록 RGB LED를 추가하여 설계하였다. 또한 상시전원과 태양광 발전에 의한 전원을 사용하도록 설계하여 하이브리드 LED 도로조명 점등 제어 시스템은 기존의 LED 도로조명 점등제어 시스템과 비교하여 많은 에너지 절감 효과를 얻을 수 있었다.

<표 4>는 기존 LED 도로조명 점등제어 시스템과 제안된 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템에

서 소모되는 전력과 에너지 절감 및 전력요금을 비교하여 나타내었다. 기존의 점등제어 시스템은 단순히 센싱 데이터를 비교하여 PWM방식에 의하여 점등제어를 하고 상시전원을 사용하게 된다. 그러나 제안된 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템은 신재생 에너지인 태양광을 이용하여 전원을 공급하고 패턴제어에 의한 점등제어를 하기 때문에 조명기기의 내부발열로 인한 조명기기의 성능저하를 방지할 수 있고, 상시전원을 거의 사용하지 않기 때문에 에너지 소모를 현저히 줄일 수 있었다.

<표 4> 에너지 효율 비교
(Table 4) Energy efficiency comparison

Type	Consumption Power			Energy Saving Effects	Energy Charge Saving Effects	ASE Based on 500 Set	ASEC Based on 500set
	Daily	Monthly	Annual				
Power LED 60W(Electric) using PWM	547.6w	16.4kw	199.8kw	-	-	99.937MWh - 23.652MWh = 76.285MWh	₩7,648,875
Power LED 60W using solar panel	129.6w	3.8kw	47.3kw	76.32%	76.82%		₩1,810,252
* ASE: Annual Saving Energy * ASEC: Annual Saving Energy Charge							₩5,838,624

LED 점등제어 시스템에서 소비되는 전력을 비교하기 위해 12시간(18시부터 익일 06시)을 점등한다고 가정하면 기존의 점등제어 시스템은 상시전원을 사용하기 때문에 등주 한 개당 하루에 547.6W의 전력을 소비하였고 1개월간 16.4KW, 연간 199.8KW를 소비하였다. 그러나 태양광 발전을 이용한 하이브리드 점등제어 시스템은 태양 전지판을 통해 생산되는 전력을 배터리를 이용하여 점등제어 시스템에 전원을 공급한다. 그렇기 때문에 등주 한 개당 하루에 129.6W의 전력을 소비하였고 1개월간 3.8KW, 연간 47.3KW를 소비하는 결과를 얻었다. 또한 소비되는 전력량은 76.23%가 감소되고 전력량 요금은 76.82%가 감소되기 때문에 연간 등주 500개를 운영한다면 연간 76.285MWh의 전력소비와 580만 이상의 전력량 요금을 절감할 수 있다. 결과적으로 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 전력 소비에 따른 효율성을 입증하였다.

IV. 결 론

참고문헌

본 논문에서는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 설계를 제안하였다. 기존 시스템의 문제점 해결을 위하여 신재생 에너지원인 태양광 발전을 이용하여 하이브리드 컨트롤러를 동작시켜 주간에는 태양전지에 의해 생산되는 전력을 배터리의 충전회로를 거쳐 충전하고, 야간에는 방전회로와 LED 드라이버를 거쳐 LED를 점·소등 제어가 가능하도록 전원을 공급하였다. 이때, 전력 부족시 상시전력을 공급하여 운용하도록 설계하였다. 게이트웨이는 인체 감지시 자동 조명 제어가 되도록 도로조명에 zigbee를 이용하여 제어 명령을 전송하였고, 점등제어 알고리즘은 설정해 놓은 타임 스케줄에 따라서 시스템의 상태를 결정하고 동작시켜 하이브리드 도로조명의 점등제어 상태를 실험하여 효율성에 대한 결과를 분석하였다.

필드실험을 통하여 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템의 효율성을 검증한 결과, 태양 전지판을 통해 생산되는 전력을 배터리를 이용하여 점등제어 시스템에 전원을 공급하기 때문에 등주 한 개당 하루에 129.6W의 전력을 소비하였고 1개월간 3.8KW, 연간 47.3KW를 소비하는 결과를 얻었다. 결과적으로 기존의 점등제어 시스템과 비교하면 76.23%의 전력소비량 감소와 76.82%의 전력요금이 감소되었다. 따라서 제안하는 태양광 발전을 이용한 하이브리드 도로조명 점등제어 시스템은 노드제어 기술의 적용에 따른 에너지 절감 및 예산절감 효과를 얻을 수 있고 대규모 거주 지역의 조명관리 시스템을 대체한다면 설치 운용비용을 절감할 수 있다.

향후에는 실시간 모니터링 및 제어를 통한 안전성·지능화 유지관리 기술과 기술 요소 부품의 연동 및 통합화에 대한 계획을 가지고 있다.

- [1] Man-soon Yoon, "Lighting industry status and Future", *korean institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, v.21, no.1, 2008.
- [2] Soon-Tack Oh, Jung-Jin Lee, Yong-Chae Jung, "Solar Tracking System Using LED Sensor", *korea institute of electronic communication sciences*, vol 3, no 1, pp. 248-252, 2009.
- [3] J.H.Lee, D.G.Lim, J.Yi, *Principle of solar cell*, Hongrung publishing company, Fed 2005.
- [4] M. Becherif, et. al., "Hybridization of fuel cell, solar panel and batteries on the dclink for street lighting application," *36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society(IECON)*, pp2795-2802, Nov 2010.
- [5] Fabio 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.
- [6] W. Guijuan et. al., "A New Intelligent Control Terminal of Solar Street Light," *Intelligent Comutation Technology and Automation(ICICTA)*, pp.321-324, March 2011.
- [7] Woo-Hee Lee, Mi-Yung Lee, Jun-Ha Lee, Hoong-Joo 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.
- [8] Sin Young Kang, Yang Guy Lee, and Kwang Heon 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.

저자소개



홍 성 일 (Hong, Sung-Il)

2007년 2월 : 세명대학교 컴퓨터과학과 이학사
2009년 8월 : 세명대학교 교육대학원 교육학석사
2012년 8월 : 세명대학교 대학원 전산정보학과 박사과정 수료(컴퓨터학 전공)
<주관심분야 : SOC CAD, CAD 알고리즘, USN, RTOS 및 내장형 시스템>



인 치 호 (Lin, Chi-ho)

1985년 : 한양대학교 공과대학 전자공학과 공학사
1987년 : 한양대학교 대학원 공학석사(CAD 전공)
1996년 : 한양대학교 대학원 공학박사(CAD 전공)
1992년 ~ 현재 : 세명대학교 컴퓨터학부 교수
e-mail : ich410@semyung.ac.kr
<주관심분야 : SOC CAD, ASIC 설계, CAD 알고리즘, SOC 설계, RTOS 및 내장형 시스템>