

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.95>

IIBC 2014-5-13

스마트 LED 가로등을 위한 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템

High Speed PLC-based Automatic Control System for a Smart LED Streetlight

김영숙*, 인치호**

Young-Suk Kim*, Chi-Ho Lin**

요 약 본 논문에서는 스마트 LED 가로등을 위한 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템을 제안한다. 제안된 자동제어 시스템은 고속 전력선 통신망을 이용하여 고속 통신 주파수 대역과 가로등 안정기 특성 분석 및 실시간 원격 제어가 가능하도록 전력선 모뎀부와 모니터링부, 가로등 제어부로 구성하였고, KS 도로조명기준의 조명등급 조건에 만족하도록 설계하였다. 제안된 자동제어 시스템은 기존 가로등 시스템의 비교 결과를 통해 PC를 사용하여 소비 전력을 쉽게 모니터링 하였다. 그 결과, LED 가로등 상태 검사 및 원격 제어를 통해 합리적 소비 전력의 유도에 의해 실시간 모니터링 및 관리를 위한 효율적인 운영의 가능성을 확인 하였다. 또한, 전력요금 절감 및 에너지 효율화, 가로등의 차별화/고급화에 대한 기대효과 향상을 증명하였다.

Abstract In this paper, we propose the high speed PLC-based automatic control system for a smart LED streetlight. The proposed the automatic control system were constructed of a power line modem part and monitoring part, streetlight controller part for the high speed communication frequency band and streetlight ballasts characterization and real-time remote control using a high-speed PLC network, and it was designed to meet to lighting grades conditions of KS road lighting standards. The proposed automatic control system were easy monitoring of the power consumption using PC through to the comparison result of the existing streetlight system. As a result, it was confirmed to the possibility of efficient operation for the real-time monitoring and maintenance by induction of reasonable power consumption through to the LED streetlight state checking and remote-control. In addition, we proved to improvement of expected effects for the power cost savings, the energy efficiency, and streetlight differentiation and advanced.

Key Words : PLC, Streetlight, ACS, Light distribution, Management program

1. 서 론

가로등의 목적은 보행자와 운전자의 시각능력을 주

간과 동일하게 유지하여 교통안전, 범죄방지, 도로이용자의 불안감 해소와 피로경감 및 도로이용의 효율성 향상을 위해 운영되고 있다. 그러나 특성상 넓은 지역에

*정회원, 극동대학교 교양학부

**정회원, 세명대학교 컴퓨터학부

접수일자 : 2014년 9월 16일, 수정완료 : 2014년 9월 29일

계재확정일자 : 2014년 10월 10일

Received: 16 September, 2014 / Revised: 29 September, 2014

Accepted: 10 October, 2014

**Corresponding Author: ich410@semyung.ac.kr

School of Computer, Semyung University, Korea

분포되어 있기 때문에 관리비용 절감 및 효율성 증대를 위해 고속 전력선 통신(High Speed Power Line Communication)에 많은 관심이 모아지고 있다. 고속 전력선 통신은 기존에 가설되어 있는 전력선을 통해 데이터 통신을 하는 기술이며 현재 지구상에 가장 넓게 가설되어 있는 풍부한 기반이기 때문에 자동검침 서비스, 인터넷 서비스는 물론 홈 네트워킹까지 가능한 주목 받고 있는 기술이다. 세계적으로 고속 전력선 통신 표준화 및 상용화에 많은 단체와 산업체가 활발한 활동을 하고 있다. 국내에서는 정부의 주도로 전력 IT 프로젝트를 통해 전력선 통신기반 유비쿼터스 기술 개발을 추진하고 있다. 이러한 고속 전력선 통신의 성장과 함께 초고속 인터넷이 가능한 통신망의 발달로 인해 고속 전력선 통신망내의 효율적 자원 관리 및 제어를 위한 관리 시스템을 필요로 한다. 그러나 현재 고속 전력선 통신망 구축 및 서비스에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으나 구성 및 장애, 성능관리 등의 자원관리에 대한 연구는 활발히 진행되지 않고 있다^{[1]-[2]}.

국내에서는 도로주변에서 수십 내지 수백 개의 가로등이 장시간 사용으로 인해 많은 전력을 소모하고 있으며, 에너지 절약을 위해 주로 격등 점등에 의지하고 있다. 그러나 격등을 위한 전력망의 이중결선에 따른 비용 추가 및 단순한 시스템 운용 전원구성 문제점으로 인해 가로등의 효율적인 운영에 따른 에너지 감소율을 얻을 수 없다. 전력선 통신망내의 조명에너지를 절약하기 위해 조명기기 고효율 기술 연구가 진행되었고, 성숙단계에 접어들어 현재 수 %의 효율을 올리는 연구개발에 많은 노력이 들어가고 있는 실정이다. 자원 관리를 위해 불필요한 조명의 스위치를 조작하는 일은 지속적으로 진행 되면 에너지 절약효과가 뛰어나지만 조명 사용자의 행동에 의존하므로 정량적 에너지 절감량은 예측하기 매우 어렵다. 그리고 가로등 점등제어 시스템의 관리에 있어서 기존 시스템은 FM 주파수 송신을 통해 일괄 제어하는 단방향 통신 방식을 사용하는 시스템이 주류를 이루고 있기 때문에 가로등 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 없고, 관리자의 순찰 및 민원에 통해서만 상황 파악을 하게 되며, 사후 대처 방식으로 유지비용 과다 지출 및 다수의 민원이 발생하는 문제점을 내포하고 있다. 따라서 기존 시스템은 수동조작 및 관리 가로등의 증가, 불필요한 점등으로 비효율성 증대되어 효율적 관리를 할 수 없고 에너지 낭비를 초래하며, 수동조작으로

인한 신속한 대응이 불가능한 문제점이 발생되고 있다. 고속 전력선 통신을 선호하는 가장 큰 이유는 별도의 통신 선로를 가설하지 않고, 기존 전력선망을 그대로 이용하여 설치 및 유지보수 비용과 인력 운용의 부담 감소에 목적이 있다. 콘센트 이용을 통해 편리한 연결성을 확보할 수도 있고, 전력선망 체계화 지역이나 응용분야에 시스템을 편리하게 구축할 수 있다. 그러나 다양한 자원으로 시스템에서 발생하는 예상치 못한 전기적 잡음과 전압과 전류의 일치에 대한 어려움, 전력선망 구축이 불확실한 기반에서의 관리에 대한 어려움이 있다. 그리고 인접한 전력선간 신호 간섭으로 인해 다른 기기에 오작동을 일으키는 문제도 있다^[3-5].

본 논문에서는 기존 가로등 제어 시스템에서 발생되는 문제점 해결을 위해 스마트 LED 가로등을 위한 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템을 제안한다. 제안하는 자동제어 시스템은 고속 전력선 통신망을 이용하여 고속 통신 주파수 대역과 가로등 안정기 특성을 분석하고, 신뢰성을 개선하는 전력선 통신 모델을 사용하여 설계한다. 그리고 개별적 제어를 통한 효율적인 원격 자동 제어를 위해 자동 및 스케줄, 상황별 점/소등 제어가 가능하도록 기능을 구성하고, 모니터링 시스템을 위한 네트워크 시스템을 설계한다. 제안하는 자동제어 시스템의 효율성과 전기료 절감 및 에너지 효율화, 가로등의 차별화/고급화에 대한 기대효과 향상 및 평가를 위해 기존 가로등 시스템과 제안하는 자동제어 시스템을 비교하고, 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템의 시뮬레이션 결과를 통해 에너지 효율성 향상을 증명한다.

II. 자동제어 시스템

제안된 스마트 LED 가로등을 위한 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템은 전국적으로 가설되어 있는 기존 전력선을 전원 공급 및 통신망으로 이용하기 때문에 전원선 외에는 추가적인 배선이 필요 없고, 초기 투자비용이 절감되며, 컨트롤러 및 센서, 타이머 등을 이용한 자동조명제어를 통해 불필요한 점등시간 및 전력소모를 감소시켜 에너지절감에 적합한 시스템이다. 그리고 가로등을 전력선으로 연결하여 간단한 설정으로 네트워크 구성이 가능하고, 소외된 산간오지, 낙도, 농어촌 등에 시스템을 간편히 제공할 수 있다.

자동제어 시스템의 특징은 성능측면에서 단일 네트워크상에서 총 65,536개의 기기 제어가 가능하기 때문에 확장성이 뛰어나고, 분산제어 방식 채택하여 중앙시스템 장애 시에도 안정적으로 운용이 가능하여 안정성이 뛰어나다. 시공측면에서는 설계변경에도 신속하고 및 유연하게 대응하고, 갑작스런 부하 변경 및 증설 확장 시에도 즉시 대응이 가능하기 때문에 유연성이 뛰어나며, 기존 가로등에 적용 시 배선 노출이 없어 미관 및 보존이 용이하여 친환경적이다.

자동제어 시스템은 모든 가로등에 대해 전선 노후화로 인한 절연과피 또는 우천 시 발생할 수 있는 누전이나 고장 등 이상유무의 실시간 파악을 중앙관제센터에 설치된 서버에서 효율적인 제어 및 감시를 목적으로 설계 하였다. 그리고 개별 및 그룹별 ON/OFF 상태 감시 및 자동제어 기능, 연간 타임스케줄에 따라서 모든 가로등 자동 제어하는 기능 및 상시/격등/그룹 점소등 설정에 의한 자동제어 기능과 특정 지역에서 수동으로 ON/OFF할 수 있는 기능, 실시간 누전 감시 및 차단 기능, LED 모듈 및 SMPS의 실시간 오류 검출/경보 기능으로 구성하였다. 적용대상은 아파트 단지 내 가로등, 빌딩 주변 가로등, 공원 가로등, 골프장 조명탑, 교량 조명, 경관 조명, 간판 등으로 제한하였다.

그림 1은 제안하는 자동제어 시스템 구성을 나타낸다. 자동제어 시스템은 가로등이 정상적으로 점소등 될 수 있도록 제어하고, 실시간 모니터링을 통해 가로등의 고장 및 누전 등으로 인한 사고방지를 위해 전력선 모뎀부와 모니터링부, 가로등 제어부로 구성하였다.

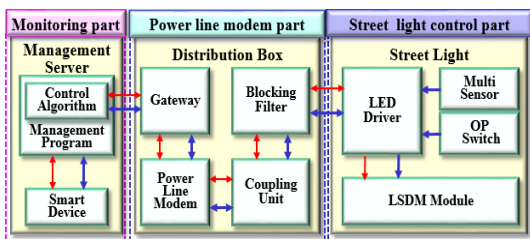


그림 1. 자동제어 시스템 구성
 Fig. 1. Automatic Control System Configuration

전력선 모뎀부는 모니터링부와 가로등 제어부에서 나온 신호들을 FSK(Frequency Shift Keying)로 변복조하여 서로간의 통신을 담당하도록 고속 전력선 모뎀, 커플링 유닛, 게이트웨이, 차단필터(Blocking Filter)로 구성하여 설계하였다. 고속 전력선 모뎀은 통신을 위한 별

도의 배선 없이 전원을 공급하는 전력선을 이용하기 때문에 가로등간에 손쉽게 통신이 가능하고, 제어 시스템 구축 및 인터넷 연동을 통한 실시간 모니터링 및 제어에도 쉽게 적용이 가능하며, 다중센서로 부터 전력, 조도, 습도, 온도, 움직임 등의 데이터 수신이 가능하다.

서버 또는 가로등 제어부로 부터 수신되는 디지털 신호는 먼저 FSK 디지털 변조되어 전류증폭기를 거쳐 라인 커플러를 통해 전력선에 전달하도록 설계하였다. 수신부에서는 라인 커플러를 통해 전력선 잡음과 여러 신호중에 원하는 주파수 대역 신호를 라인 커플러를 통해 다시 수신하고, 이렇게 수신된 신호는 모뎀에 의해 복조되어 원래의 디지털 신호로 복원되는 과정을 거치게 된다. 이때, 서로는 반이중 방식으로 통신되므로 한쪽이 전송할 때는 반드시 다른 한쪽은 수신만 해야 한다. 따라서 이러한 전송방식을 위해 데이터 송수신 단자의 선택 비트를 통해 서로의 통신 송수신 모드를 결정하게 되고, 모뎀은 서버에서 상태 모니터링 및 가로등 제어를 위한 신호를 전송하게 된다. 전력선 모뎀으로부터 신호를 수신하여 전력선에 전달하는 커플링 유닛은 자기 유도방식에 의한 신호전달로 기존 전력선을 유지한 상태에서 간단하게 설치 가능하다. 그림 2는 전력선 모뎀 구성을 나타낸다.

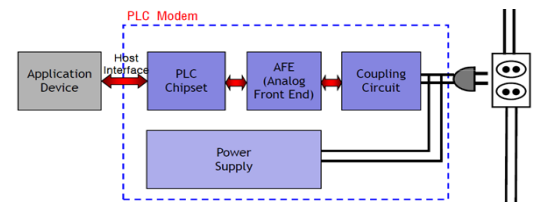


그림 2. 전력선 모뎀 구성
 Fig. 2. Power line modem configuration

전력선 모뎀부의 게이트웨이는 전력선 통신을 통해 수신 메시지를 분석한다. 각각의 가로등에 설치되는 기기들의 번호를 설정하고, 전력선 통신 기기들의 데이터를 요구하며, 가로등으로 부터 각종 센서 값 수집을 통해 프로토콜 분석 결과에 따라 연산 및 제어 메시지 전달을 수행하도록 설계하였다. 차단필터는 단상용 배선에 사용하고 가로등 외부 노이즈 및 부하를 차단을 통해 원활한 전력선 통신 환경을 유지하고, 가로등 내부 전력 신호의 외부 전송 차단을 통해 가로등간 전력선 통신 신호 해킹을 방지하여 안전한 전력선 통신 환경을 보장하도록 구성하였다.

가로등 제어부는 서버로부터 전달되어지는 명령을 통해 가로등을 제어하고 가로등간의 통신이 가능하도록 LED 점등 드라이버 및 OP 스위치로 구성하였다. LED 점등 드라이버는 조명제어를 목적으로 구현된 전력선 모뎀으로부터 수신되는 제어 신호를 통해 가로등의 점소등 제어를 위해 전력선 모뎀의 와치독(watchdog) 신호와 데이터 송수신 비트 선택 신호를 전달하고, 전력선 모뎀으로부터 수신된 제어신호를 가지고 5개의 가로등을 개별적으로 제어하며, 주파수 변환 방식으로 가로등 디밍 제어를 하도록 설계하였다. 디밍 제어를 위한 주파수는 10단계(18khz~25khz)로 조절이 가능하고, 컨트롤러에서 직접 생성하여 증폭한 뒤 SMPS에 공급하게 된다. OP 스위치는 전력선 통신을 위한 상시 전원 공급에 사용되기 때문에 3상 배선이 필요하다. 스위치는 각각의 가로등에 대하여 조작전원을 ON/OFF하게 된다. OP-Mode가 ON 상태이면 원격모드로 원거리에서 PLC를 이용한 제어가 가능하고, Off이면 로컬 모드로 컨트롤러 프로그램을 이용한 자동제어모드가 수행된다.

모니터링부는 사용자가 서버를 통해 가로등 제어 및 모니터링 하도록 그루비 스크립트(Groovy Script)를 사용하였고, 윈도우 및 리눅스 환경에서 구동되도록 관제 프로그램 프로토타입을 설계하였다. 또한, 5개의 LED 가로등 점소등 및 디밍 제어, 모니터링, 누전, LED 불량 여부, 통신상태 확인, 에너지 관리 등의 기능으로 구성되어 설계 하였고, 원활한 원격제어와 개별 제어의 편리성, 고장률 분석 및 데이터베이스화에 중점을 두었기 때문에 전력소비 절감, LED 가로등의 제어 및 상태확인, 원활한 유지보수가 가능하였다. 디밍 제어는 광속 유지, 빔공해 감소효과, 온실가스 절감에 기여하고, 지속적 모니터링은 안전사고 예방이 가능하며, 관리 및 유지보수는 관리자 업무 부담 감소 및 효율적 관리가 이루어 질 수 있다. 그림 3은 자동제어 시스템의 관제 프로그램 프로토타입을 나타낸다. 가로등 관제 프로그램은 비동기적 수신 신호를 각각의 가로등 심벌에 반영시켜 상태 모니터링 및 마우스 드래그를 통해 지도의 적합한 위치에 배치 가능하게 설계하였다. 연결된 각 가로등 심벌을 클릭하면 가로등 상태 확인을 할 수 있는 메뉴 구성을 통해 가로등의 점등제어가 가능하였고, On을 선택하면 가로등 쪽에 연결된 모뎀에서 점등제어 신호를 수신하여 가로등을 점등하고, 관련된 부하의 상태정보 데이터를 수신하여 화면에 표시하도록 설계하였다.

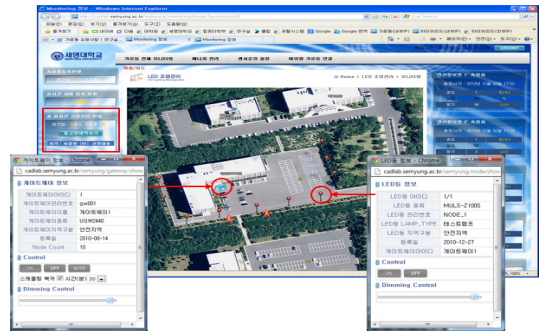


그림 3. 관제 프로그램 프로토타입
Fig. 3. Management program prototypes

그림 4는 자동제어 시스템의 효율적인 제어를 위해 설계한 ACS(Automatic Control System) 제어 알고리즘을 나타낸다. ACS 제어 알고리즘은 통신 속도를 결정하고 시스템 초기 조건을 설정한다. 게이트웨이 및 모뎀, 드라이버 연결정보가 수신되지 않으면 초기조건 설정단계부터 반복하고, 수신되면 센서와 가로등에서 상태정보를 수신한다. 관제 프로그램은 수신된 상태정보를 계산하여 가로등에 대한 상태를 표시한다. 자동제어 시스템의 상태정보 요청은 제어 데이터 및 센서 ID를 가로등으로 전송하고, OP 스위치에 의한 온/오프 제어는 가로등으로부터 OP-Mode 정보를 수신하며, 제어 데이터 및 센서 ID를 전송한다. 그리고 디밍 제어는 관제 프로그램을 통해 점등레벨을 계산하여 제어정보와 센서 ID를 가로등으로 전송하고, 레벨에 의해 점등제어를 한다. 관제 프로그램은 각각의 시스템 제어 이후에 가로등의 상태정보를 수신하여 표시한다.

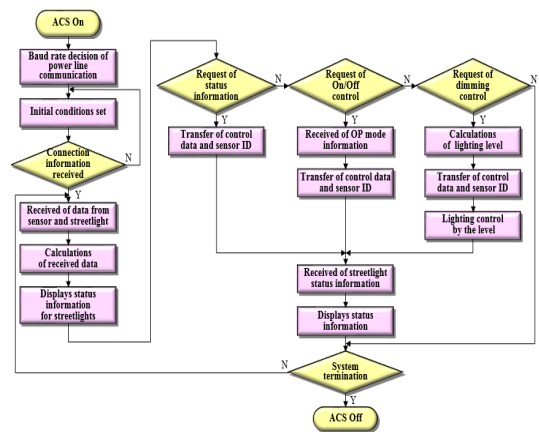


그림 4. ACS 제어 알고리즘
Fig. 4. ACS control algorithm

그림 5는 ACS 제어 알고리즘에 의한 자동제어 시스템의 제어 흐름을 나타낸다. 게이트웨이는 서버의 요청에 의해 전력선 모뎀과 드라이버를 연결한다. 서버는 연결정보를 확인하여 가로등의 상태정보 요청을 하고, 전력선 모뎀은 센서와 OP 스위치, 가로등의 점등상태 정보를 서버로 전송한다. 그리고 서버는 게이트웨이와 포트를 연결하여 가로등의 응답 정보 수신 및 상태정보를 확인한다. 게이트웨이는 서버로부터 제어 데이터와 조명 ID를 수신하여 매핑 정보를 생성하고, 세션 ID를 추가하여 모뎀으로 전송하며, 모뎀은 드라이버로 수신된 제어 데이터를 전송하여 LSDM 모듈을 점등한다. 전력선 모뎀은 드라이버로부터 데이터 수신결과를 수신하고, 세션 ID와 조명 ID를 추가하여 게이트웨이로 전송하며, 서버는 게이트웨이로부터 데이터 수신결과와 조명 ID를 수신하여 점등제어 결과를 확인한다.

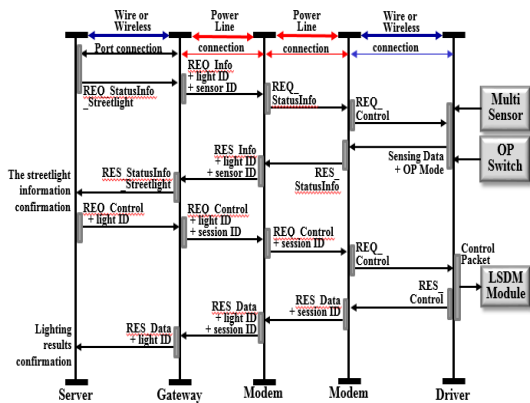


그림 5. 자동제어 시스템의 제어흐름
 Fig. 5. Control flow of the automatic control system

III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 자동제어 시스템은 가로등간 네트워크를 고속 전력선 통신 기반으로 구성하였고, 가로등의 효율적인 제어를 위한 서버 구성을 통해 광속을 제어할 수 있도록 시스템 실험 환경을 구성하였다.

그림 6은 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템의 실험 환경을 나타낸다. 실험환경은 한 개의 서버와 5개의 가로등으로 구성하고, 서버에서 각 가로등을 제어할 수 있도록 게이트웨이 및 차단필터, 전력선 모뎀, 커플링 유닛을 사용하여 환경설정을 하였다.

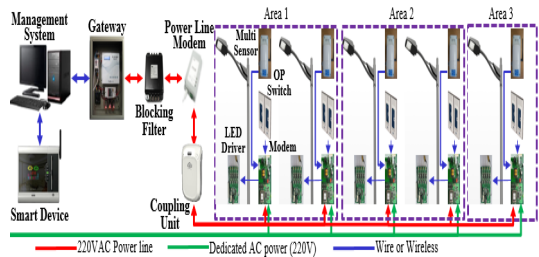


그림 6. 시스템 실험환경
 Fig. 6. System experiment environment

기존 시스템과 제안된 시스템의 실험 조건은 효율성 평가를 위한 조건에 중점을 두었다. 관리 가로등의 전체 개수는 5개로 하였고, 리눅스 시뮬레이션 프로그램을 통해 효율성을 평가 하였다. 기존 가로등 관리 시스템은 관리 인원들이 각 가로등을 순회하여 가로등의 고장 유무를 확인하고 고장 시 수리하지만 제안하는 자동제어 시스템은 가로등의 점등상태 및 이상 유무를 서버에서 실시간으로 관제하여 가로등의 이상 상태에 즉시 대처한다는 조건을 적용하였다.

그림 7은 조명등급 M4에 만족하는 가로등 설치 조건을 나타낸다. 실험을 위한 상세 조건은 KS 도로조명기준(KS A 3701:2007)을 토대로 설정하였으며 조명등급은 M4를 적용하였다. 도로 유형은 중앙 분리대가 없고 도로폭(b)을 14m로 설정하였다. 가로등이 차선 경계에서 도로 안쪽으로 들어가는 거리(u)는 2.3m, 바닥으로부터 가로등 설치 높이(h)는 10m, 가로등 설치 간격(a)은 25m, 가로등 기울기 각도(δ)와 유지율은 10° 와 0.6으로 설정하였다. 가로등의 기울기 각도는 크게 하면 평균 노면 휘도와 휘도 균제도가 증가하지만 운전자 시야에 강한 빛이 들어오게 되어 글래어가 증가하기 때문에 10° 로 고정 시켰다.

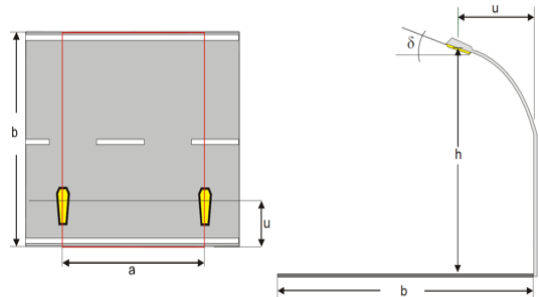


그림 7. 가로등 설치조건
 Fig. 7. Streetlight setting conditions

표 1은 리눅스에서 사용한 조명기구의 효율계수 및 광효율, 시스템 전력 등을 비교 결과를 나타낸다. LED 램프의 효율계수는 99.99%로 28.09% 높게 나타났고, 조명기구 효율은 97.05 lm/W로 44.87% 증가하였으며, 시스템 전력은 조명기구별 68W가 소모되어 59.52%가 감소되었다. 결론적으로 시뮬레이션을 위해 사용한 LED 램프는 도로조명 기준에 만족하는 조명기구로서 높은 효율성을 확인 하였다.

표 1. 조명기구 효율 비교
Table 1. Comparison of luminaries efficiencies

Division	High-Pressure Sodium Lamp	LED Lamp
Efficiency factor	71.9%	99.99%
Luminaire efficacy	53.5 lm/W (A30, ↓ 100.0% ↑ 0.0%)	97.05 lm/W (A20, ↓ 99.9% ↑ 0.1%)
Tot. system power	168 W	68 W
Equipment	1 x SE	1 x LED
Total luminous flux	12,500 lm	6,600 lm
Light distribution	asymmetric	asymmetric
Beam Angle	63.4° C0, 61.9° C90, 63.4° C180~C270	70.3° C0~C90, 70.3° C180~C270

그림 8은 시뮬레이션에 사용된 조명기구의 배광 곡선을 나타낸다. 시뮬레이션 진행시 조명기구는 배광곡선을 고려하여 측광 방향을 설정하였다. 실선은 C0°~C180°의 배광을 나타내고, 점선은 C90°~C270°의 배광을 나타낸다. 국제 조명위원회(CIE)에서 규정하는 도로조명기구의 측광 방향은 C0°~C180°가 도로의 방향이 되지만 북미조명학회(IESNA)에서는 C0°~C180°가 도로폭 방향이고, C90°~C270°가 도로 길이 방향이 되어 시계 반대방향으로 90°만큼의 차이를 갖기 때문에 조명기구 회전 여부를 결정 하였다. 그림 9는 조명기구 배광곡선을 기반으로 측광 방향 및 회전 여부를 도로에 적용한 배광 결과 비교를 나타낸다.

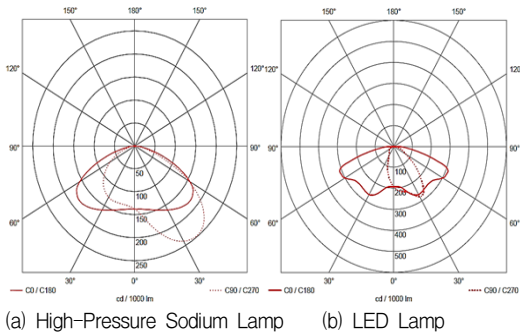


그림 8. 조명기구 배광곡선
Fig. 8. Luminaries light distribution curve

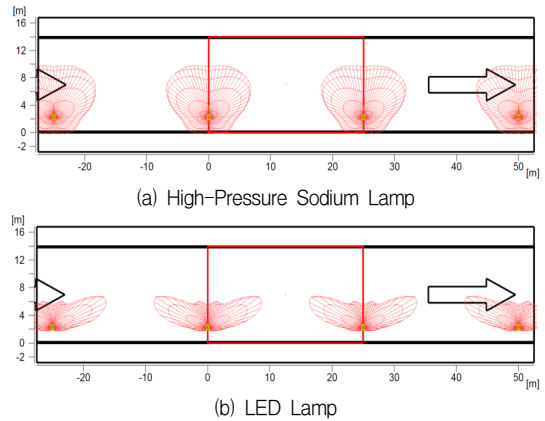


그림 9. 조명기구 배광결과 비교
Fig. 9. Comparison of luminaries light distribution results

표 2는 고압 나트륨램프 및 LED 램프를 사용한 가로등의 M4 기준 만족도 비교를 나타낸다. KS 도로조명기준을 바탕으로 설정한 시뮬레이션 결과는 고압 나트륨램프를 사용한 가로등과 LED 램프를 사용한 가로등 모두 조명등급 M4의 조건에 만족하였다. 또한, 도로조명 지침과 기준에 따라 단위면적당 휘도(cd/m²)의 평균 노면 휘도(L_{avg}), 최대 조도와 최소 조도의 비를 이용하는 종합균제도(U₀) 및 차선 축 균제도(UI), 임계치 증분(TI) 기준에 대하여 모두 만족하는 결과를 얻었다.

표 2. 가로등 만족도 비교
Table 2. Comparison of streetlight satisfaction rates

Division	High-Pressure Sodium Lamp	LED Street Lighting
Luminance	Observer location	x=-60.00m, y=1.75m, z=1.50m
	L _{avg} (min0.75)	2.15cd/m ² 2.15cd/m ²
	U ₀ (min 0.4)	0.65 0.56
Longitudinal Uniformity (min 0.6)		UI (B1:x=-60.00, y=7.00, z=1.50)
		0.91 0.85
Glare Surrounding Brightness	TI (max 15)	2% 15%

표 3은 고압 나트륨램프를 사용한 가로등과 LED 램프를 사용한 가로등의 전력 사용량 비교를 나타낸다. ACS 제어 알고리즘을 스마트 LED 가로등 자동제어 시스템에 적용한 결과, 가로등 한 개에 적용할 경우 연간 365.1KW의 전력 소모를 감소시켰고, 100개에 적용할 경우 36.5MW를 절감시켜 59.54%의 에너지 절감효과를 얻을 수 있었다. 그러나 에너지 절감량 산출은 조명제어 시스템이 단위기기가 아니라 제어 알고리즘에 의해

너지를 절감하는 시스템이기 때문에 조명기기에 대한 효율은 조명제어 시스템에 적용할 수 없다.

표 3. 가로등 전력 사용량 비교
 Table 3. Comparison of streetlight power consumption

Type	Consumption Power			Energy Saving Effects	ASE Based on 100 Set
	Daily	Monthly	Annual		
High-Pressure Sodium Lamp	1.68kw	51.1kw	613.2kw	-	61.32MW - 24.82MW = 36.5MW
LED Street Lighting	0.68kw	20.68kw	248.1kw	59.54%	

• ASE: Annual Saving Energy

표 4는 에너지 절감 및 유지관리 비용의 비교를 나타낸다. 에너지 절감 비용은 가로등 자동제어 알고리즘의 적용을 통해 센서에 의한 점등제어 및 심야시간에 적등제어하여 무부하상태의 전력손실을 감소시켰기 때문에 연간 \$257,928 절감 효과를 얻었다. 유지관리 비용은 LED 램프의 사용으로 조명기구 수명 연장과 고장 점검 및 수리를 위한 고가차량 임대, 관리 및 순찰 비용, 인건비 감소로 인해 연간 \$98,419를 절감 효과를 얻었다.

표 4. 에너지 절감 및 유지관리 비용 비교
 Table 4. Comparison of energy savings and maintenance costs

Division	Lamp type	Power Consumption	Usage Period		
			1 year	2 years	3 years
Power Consumption Cost	High-Pressure Sodium Lamp	168W	\$472,332	\$944,644	\$1,416,996
	LED Street Lighting	68W	\$214,404	\$428,808	\$643,212
	Reduced costs		\$257,928	\$515,856	\$773,784
Maintenance costs	Lamp type	Life cycle	1 year	2 years	3 years
	High-Pressure Sodium Lamp	24,000hr	\$161,739	\$323,478	\$485,217
	LED Street Lighting	50,000hr	\$63,320	\$126,640	\$189,960
	Reduced costs		\$98,419	\$196,838	\$295,257
Total reduced costs			\$356,347	\$712,694	\$1,069,041

IV. 결론

본 논문에서는 스마트 LED 가로등을 위한 고속 전력선 통신 기반 자동제어 시스템을 제안하였다. 제안된 자동제어 시스템은 실시간 원격제어가 가능하도록 전력선 모델부와 모니터링부, 가로등 제어부로 구성되어 설계하였고, 차단필터 사용으로 전력선통신 성능을 개선하였으며, 서버에서 개별 가로등을 점멸 제어하고 점멸상

태 및 이상상태를 실시간 관제하여 운영·관리의 효율성을 증대하였다. 전력량 소비를 PC로 쉽게 모니터링하여 합리적인 전력소비를 유도하도록 했기 때문에 LED 가로등의 상태점검 및 원격제어를 통해 실시간 모니터링과 유지보수에 대하여 효율적 운영의 가능성을 확인하였다. 또한, 기존 가로등 시스템의 경우 가로등의 이상상태를 빠르게 대처하지 못하기 때문에 민원이 발생하게 될 뿐만 아니라 차칫 설비의 결함 또는 각종 열화 등에 대하여 안전장치가 기능을 발휘하지 못해서 인체에 치명적인 재해를 초래하는 문제점을 스마트 LED 가로등 자동제어 시스템의 원격 실시간 모니터링으로 민원 및 재해를 사전에 예방하는 효과를 얻을 수 있다.

향후 다양한 전력선통신을 기반으로 다양한 유무선 통신을 연동할 수 있는 통합 네트워크를 구현하고, 통신 속도 향상 및 전송 오류율 감소를 위해 고속 전력선 통신망에 대한 임피던스 측정이나 노이즈 분석 등의 선결 과제들이 연구되어야 할 것이다.

References

- [1] Hyeong-Kwon Kim, Jong-Sung Han, In-Tae Hwang, Mi-Ae Lee, and Hoon Kim, "Investigation of Roadway Lighting by Measurement of Illuminance and Luminance Distribution", Journal of KIIEE, Vol. 22, No 1, pp. 17-23, 2008
- [2] Niovi Pavlidou, A.J. Han Vinck, and Javad Yazdani, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," IEEE Communications Magazine, pp. 34-40, April 2003
- [3] Seung-Ho. and Moon-Gyu Jeong, "The Light Control System using Power Line Communication", Conference of KIIEE, pp. 79-80, 2010.09
- [4] Myung-Ho Kim, "PLC Filter Capacity Improvement and Efficiency Evaluation of Smart Street Lighting System", Journal of KIEE, Vol. 58, No. 2, pp. 154-157, 2009.06
- [5] Yun-Ho Nam, Dong-Won Jang, and Kyung-Seok Kim, "Implementation of a High Performance Notch Filter Algorithm for Power Line

- Communication System”, The Journal of IIBC, VOL. 10, No. 3, pp.159-166, June 2010.
- [6] Jun-Ho Bang, and Woo-Choun Lee, “Design of A Current-mode Bandpass Filter in Receiver for High speed PLC Modem ”, The Journal of KAIS, pp.4745-4750, Vol.13, No 10, October 2012.
- [7] W. Yue, S. Changhong, Z. Xianghong, and Y. Wei, “Design of New Intelligent Street Light Control System”, 2010 8th IEEE ICCA, pp. 1423-1427, June 2010.
- [8] Seong-kyun Shin, Byung-Jin Lee, Dong-Won Jang, and Kyung-Seok Kim, “Implementation of a dynamic high-performance Notch Filter for Power-Line Communications”, The Journal of IIBC, VOL. 13, No. 1, pp.221-227, February 2013
- [9] C.-H. Lien, H.-C. Chen, Y.-W. Bai, and M.-B. Lin, “Power Monitoring and Control for Electric Home Appliances Based on Power Line Communication”, Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. IEEE, pp. 2179 - 2184, May 2008.
- [10] Yo-Cheol Kim, Bong-Youl Cho, Jae-Jo Lee, and Jin-Young Kim, “Iterative Coding for High Speed Power Line Communication Systems”, The Journal of IIBC, VOL. 11, No. 5, pp.185-192, October 2011
- [11] H. C. Ferreira, and H. M. Grove, O. Hooijen, and A. J. Han Vinck, “Power Line Communications : Overviews”, IEEE 4th AFRICON’96, Stellenbosch, Vol. 2, pp. 558-563, Sept. 1996.
- [12] Keun-Soo Park, Young-Ho Lee, and Jang-Sik Park “Implementation Power Line Communication Network for Monitoring Consumption of Electric Power”, Conference of KIECS, Vol. 7, No.2, pp. 318-321, 2013.11

저자 소개

김 영 숙(정회원)



- 1977년 : 고려대학교 이학사
- 2002년 : 충주대학교 공학석사(전자계산학 전공)
- 2008년 : 세명대학교 대학원 이학박사(CAD 전공)
- 2012년 ~ 현재 : 극동대학교 교양학부 교수

<주관심분야 : SOC CAD, CAD 알고리즘, Web 코스웨어 개발>

인 치 호(정회원)

- 2014년 : 제14권 제3호 참조