

논문 2011-06-04

# USN 기반의 에너지 및 안전성 효율적인 LED 가로등 제어 시스템

## (Energy and Safety Efficient LED Street-light Control System Based on Ubiquitous Sensor Network)

조면균\*, 김식, 양우석

(Myeon-gyun Cho, Shik Kim, Woo Suk Yang)

Abstract : LEDs are becoming the most suitable candidate replacing traditional fluorescent street-light lamps because of its energy efficiency and high brightness. Furthermore, most countries are urging to pursue energy savings in conjunction with IT and sensor network. In order to conserve energy of LED lamp and ensure the safety of pedestrian, we propose a new smart control method for LED light system based on USN using compound sensors, such as illuminance, motion, temperature and humidity sensor. An elaborate simulation shows that the proposed system with a smart control based switching can reduce the energy by 40%, compared to the previous street-light system with a fixed time based switching.

Keywords : LED light, Dimmer control, Energy saving, Ubiquitous sensor network, Compound sensors

### I. 서론

우리나라는 대부분의 에너지 자원을 수입에 의존하고 있어 에너지 사용이 국가 경제에 미치는 영향이 매우 크다. 그러므로 최근 이슈화 되고 있는 그린 IT(Green IT)는 IT 자체의 그린화, IT를 활용한 그린화를 통해 에너지 효율화, 탄소배출 저감, 신 비즈니스 창출 등을 제공하는 국가의 유망한 신성장 동력 산업이다 [1].

또한 고유가로 인한 에너지 위기와 환경오염에 대한 경각심으로, 저효율 백열등과 유해물질을 사용하는 형광등을 대체하기 위한 광원으로 LED가 에너지세이빙 및 친환경 특징으로 주목을 받고 있다 [2,3]. 특히 조명효율이 높고 장수명인 LED를 가로등에 적용함으로써 전력비용 및 유지보수 비용을

\* 교신저자 (Corresponding Author)

논문접수 : 2010. 11. 15., 수정일: 2010. 12. 14.

채택확정 : 2010. 12. 19.

조면균 : 세명대학교 정보통신학부

김식 : 세명대학교 정보통신학부

양우석 : 한국전자통신연구원 (ETRI)

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가 관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10035570, 스마트&그린 빌딩용 자가 충전 지능형 센서노드 플랫폼 개발]

크게 절감 시킬 수 있다 [7,8].

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 언제 어디서 원하는 대상을 측정하고 센서노드의 네트워크 기능을 이용하여 데이터를 수집 분석하여 상호간의 메시지 송수신이 가능하다 [5,6]. 최근 조명기기와 IT기술인 USN 기술의 융합을 통하여 에너지 세이빙을 제공하기 위해, 주변 환경에 따른 조광제어(Dimming control) 및 원격제어(Remote control)를 통한 관리방안 등이 점차 소개되고 있다 [9-12].

하지만 센서노드의 정보를 입력받아 조명등의 단순 점멸을 조정하는 수준에 그치고 있어서, LED 조명등의 주변특성 및 센서입력 값을 종합적으로 분석하여 지능적으로 조광제어를 행함으로써 에너지 절약과 동시에 보행자의 안전을 보장하는 조명기기의 운용에 대한 연구는 부족한 것이 현실이다. 그러므로 본 논문에서는 USN을 통하여 LED 가로등에 장착된 조도, 움직임, 온도, 습도 등의 다중 센서정보를 중앙 제어기가 취합 분석하고 지능적인 가로등 점등제어를 함으로써 에너지 절약을 극대화하고 동시에 보행자에게 안전성을 보장할 수 있는 방안을 제시하고 그 효과를 실험으로 보인다.

### II. LED 가로등 시스템 모델

1. 가로등 환경모델 (Street-light Environment Model)

본 논문에서는 그림 1과 같은 가로등 배치 및 센서에 영향을 미치는 환경요인을 고려하여, 실제적인 가로등 환경 모델을 가정하였다. 제안 모델은 본교의 전산정보관 주변에 위치한 가로등의 배치를 모델로 삼은 것으로, 각각의 가로등은 위치 및 주변 상황에 따라 3개의 그룹으로 묶어서 구분한다.

각각의 가로등 주에는 센서노드가 장착되어 있으며 지그비(Zigbee)를 이용하여 분전함과 통신을 하게 되고, 분전함은 건물내부의 중앙 전력 제어기(smarter)와 CDMA로 통신을 하여 수집된 자료를 분석 후 원격으로 가로등의 점멸(On/Off) 및 조광제어(dimming control) 기능을 통해 실제적인 LED 가로등을 조정 하게 된다.

각 그룹(Zone)에 대해 설명하면 다음과 같다.

- Zone1: 건물앞 가장 밝은 지역 (1, 2번)  
우선 건물 앞쪽의 가로등 설치구역은 연구실, 현관 및 관리사무실의 야간조명으로 인하여 가장 밝은 지역이고 24시간 일정수준의 밝기가 유지되는 지역이다.
- Zone2: 건물옆 도로변 중간 밝기의 지역(3, 4, 5 번)  
건물의 우측은 도로 주변으로 중간정도의 밝기가 보장되는 지역이며, 차량과 보행자의 통행이 야간에도 빈번한 지역이다.
- Zone3: 뒤편 숲 인접 가장 어두운 지역 (6, 7번)  
건물 뒤편의 숲과 인접하여 사람의 통행이 적고 불빛이 거의 제공되지 않아 아주 어두운 지역이다.

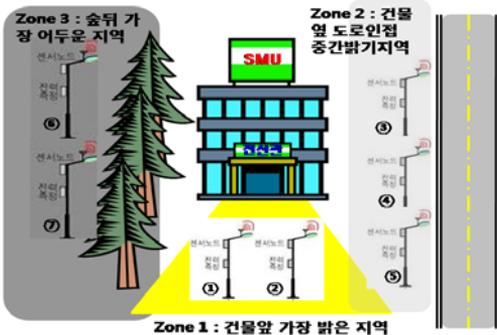


그림 1. 3개의 그룹으로 구성된 가로등 환경 모델  
Fig. 1. Street-light system model with 3 different environment group

각각의 지역(zone)에는 7개의 가로등이 2,3,2의 그룹으로 묶여 있으며 각 가로등에는 온도, 조도, 습도 및 움직임 센서가 복합적으로 장착되어 있다.

2. 센서노드 (Sensor Node) 및 센서의 입력 파라미터 (Sensor Input Parameter)

본 절에서는 각각의 가로등에 장착된 조도, 움직임, 온도, 습도 센서의 특징을 설명하고 그 동작 범위 및 센서의 입력 파라미터는 무엇인지 알아본다.

● 조도 센서 (Illuminance Sensor)

조도는 단위면적당 피사체에 일정하게 비추어지는 밝기 정도를 말하며 단위는 룩스(Lux)를 사용한다. 그림 2는 7개의 가로등의 조도센서에서 측정된 조도값을 저녁 6시부터 다음날 새벽 6시까지 매 시간단위로 측정하여 나타낸 값이다. 미리 예상한 바와 같이 Zone1에 해당하는 1,2번 가로등에서 측정된 조도값은 오후 7시에서 12시 까지 건물 및 현관의 조명으로 인해 상당한 밝기를 유지하고 있음을 알 수 있다. 반면 숲 근처의 Zone3에서는 매우 어두워서 낮은 조도값을 가지고 있다.

● 움직임 센서 (Motion Sensor)

가로등에 설치된 움직임 감지센서는 적외선 감지센서를 사용하였으며 센서주변에 이동체가 나타나면 센서출력이 생성되고 가로등의 스위치를 On 시키는 신호를 발생 시킨다. 만약 이동체 출현에 따른 센서출력이 일정시간동안 발생되지 않는다면 가로등은 Off 시키는 신호를 발생시킨다[8].

표 1은 통계적으로 측정된 움직임 센서의 출력 생성 주기를 duty cycle의 형태로 나타낸 표이다. 자정부터 6시까지는 모든 가로등이 소등되고 움직임센서에 의해서만 가로등이 동작하는 것을 가정하였다.

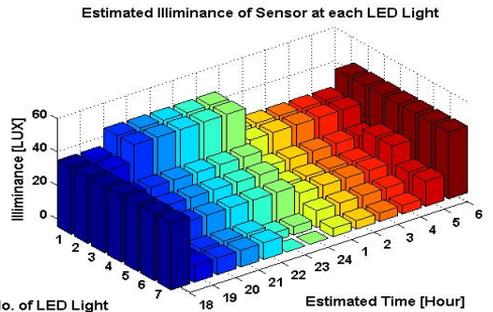


그림 2. 각 가로등의 조도센서 입력치  
Fig. 2. Illuminance sensor input for each street-light

표 1. 각 그룹별 움직임 센서에 의한 가로등 동작주기

Table 1. Duty cycle of street-light lamp from motion sensor input

그룹	Duty Cycle (on/off)	비고
Zone 1	2 : 8	00시~06시
Zone 2	3 : 7	00시~06시
Zone 3	1 : 9	00시~06시

표 1과 같이 도로에 인접한 Zone2에서는 자정 이후에도 빈번한 차량 및 보행자의 통행으로 움직임 센서에 의한 가로등 점멸의 시간적 비율이 3:7로 나타났다. 추가적으로 온도센서와 습도센서는 보행자의 안전을 확보하기 위한 정보를 제공한다. 예를 들면 안개가 끼거나 비가 오는 환경에서는 안전을 위하여 기존보다 가로등의 밝기를 더 밝게 하여야 한다. 특히 습도가 높고 동시에 온도가 낮아 결빙이 일어나는 환경에서는 가로등이 최대의 밝기를 제공하여 보행자로 하여금 결빙된 구간을 확인하여 비켜 갈수 있도록 배려하여야 한다.

● 온도 센서 (Temperature Sensor)

온도의 변화에 응답하는 센서로 온도의 변화를 감지하여 온도관리를 자동화 하는데 이용된다. 센서의 동작범위는 -10oC에서 100oC까지 이고 오차범위는 ±3oC이다. 온도센서는 단독으로 동작하는 것이 아니고 습도센서와 결합하여 의미 있는 정보를 생성한다.

● 상대 습도 센서 (Relative Humidity Sensor)

상대습도를 측정할 수 있는 센서의 동작범위는 RH30%~RH90%까지 오차 ± 2%로 측정가능하다. 이때 상대습도 (RH: Relative Humidity)는 다음과 같다.

$$\text{상대습도}(\%) = \frac{\text{현재 수증기압}}{\text{포화수증기압}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 포화수증기압은 공기가 습기를 머금을 수 있는 최대 수증기의 양을 말하며, 온도가 높아질수록 더 많은 물기를 포함할 수 있으므로 커지고 온도가 낮아질수록 적어진다. 그러므로 상대습도는 온도가 높아질수록 낮아지고 온도가 낮아질수록 커진다. 예를 들면 같은 수증기양이지만 새벽의 온도

가 낮을 때 결로가 일어나는 현상이 그 예이다.

그림 3은 계절별 온도변화에 따른 상대습도를 나타낸 것이다.

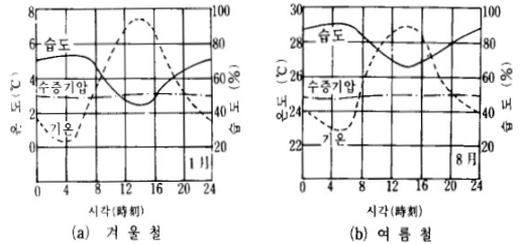


그림 3. 계절에 따른 상대습도와 온도와의 관계  
Fig. 3. The relation between relative humidity and temperature depending on the season

Ⅲ. 에너지 및 안전성 효율적인 제안 알고리즘

1. 조도와 움직임 센서를 이용한 가로등 제어시스템

고유가로 인한 에너지 위기와 환경오염에 대한 반성으로 고효율의 LED 가로등을 채택하게 된다. 추가적으로 가로등에 부착된 센서가 보내는 정보를 활용하여 중앙의 컴퓨터인 스마트가 에너지 소비는 최소화하면서 보행자가 요구하는 빛의 밝기는 보장한다. 먼저 스마트 동작의 입력이 되는 때 t시간 n번째 가로등별로 요구되는 조도량, IReq(t,n)은 다음과 같이 표시 가능 한다.

$$I_{Req}(t,n) = I_{Target} - I_{cst}(t,n) \quad (2)$$

여기서, ITarget(t,n)는 보행자가 가로등에 요구하는 목표 조도이며, Iest(t,n)은 t시간에 n번째 가로등에서 측정된 조도 값을 나타낸다. 즉 보행자가 요구하는 조도를 제공하기 위해서 조도센서의 입력을 바탕으로 가로등의 조광제어(dimming control)를 수행한다.

측정되는 곳의 밝기가 조도라면 광원(LED 가로등)의 밝기는 광속이라고 하고 단위는 lm(Lumen)이다 [7]. 표 2와 같이 사용되는 LED등이 75W급이며 광 효율이 67lm/W라 할 때 광원의 광속은 약 5000 lm이 된다. 가로등 높이를 3m로 가정할 때 광원의 광속이 5000 lm이 되면 바닥면의 목표 조

도(I<sub>target</sub>)를 200 Lux로 만들 수 있다 [7]. LED 가로등의 목표 광속인 5000 lm을 달성하기 위한 n 번째 가로등의 t시간에서의 요구전력(W)  $P_{Req}^{LED}(t,n)$ 는 식(3)과 같고, 한 달 동안 n번째 가로등이 필요한 총 전력량(Wh)  $P_{month}^{LED}(n)$ 는 식(4)로 표현가능하다.

$$P_{Req}^{LED}(t,n) = \alpha_{LED} \cdot I_{Req}(t,n) \quad (3)$$

$$P_{month}^{LED}(n) = 30 \times \sum_{t=1}^{13} P_{Req}^{LED}(t,n) \quad (4)$$

여기서  $\alpha_{LED} \approx 0.372$ 는 요구되는 조도를 만들기 위해 소요되는 전력값을 도출하기 위한 변환 파라미터이다. 추가로 주의하여야 할 점은, 스마트의 명령에 따라 가로등의 조광제어를 행할 때는 선형적으로 이루어지는 것이 아니라 10단계의 이산적 제어를 행한다는 것이다.

표 2. 백열전구와 LED의 광원비교 특성 [7]  
Table 2. Comparison of luminous source in fluorescent light and LED light

항목	단위	백열등	LED등,
소비전력	W	300	75
수명	시간	1000	26000
광원효율	lm/W	15	67
총 광속	lm	4600	5000

그림 4는 각 그룹별, 시간(t) 별 움직임 센서에 의한 가로등의 평균점등 확률  $M(t,n)$ 을 나타낸 그림이다.

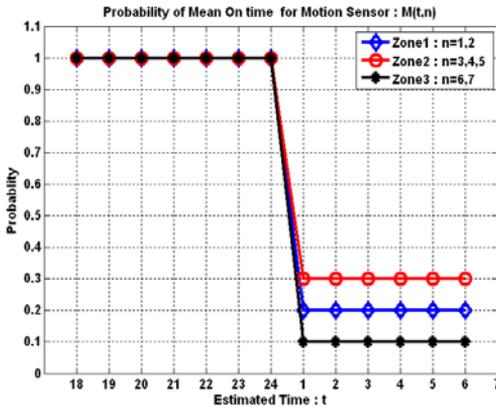


그림 4. 움직임 센서에 의한 시간별 평균점등 확률  
Fig. 4. Probability of average lightning time from the motion sensor at each time

움직임 센서에 의해서 가로등은 점멸(On/Off)의 스위치로 동작 할뿐 전등의 밝기와는 관계가 없다. 그러므로 조도센서와 움직임 센서에 의한 n번째 가로등이 한 달 동안 필요한 최종 전력량(Wh)은 다음과 같이 표현가능하다.

$$P_{month}^{LED-2}(n) = 30 \times \left( \sum_{t=1}^{13} P_{Req}^{LED}(t,n) \cdot M(t,n) \right) \quad (5)$$

## 2. 추가적인 온도와 습도센서를 활용하여 안전성을 강화하는 가로등 제어 시스템

이 절에서는 온도센서와 습도센서를 활용하여, 보행자가 실생활에서 겪게 되는 날씨에 의한 안전사고를 예방할 수 있도록 하는 방안을 제안한다.

일반적으로 동일한 새벽 시간이라도, 안개나 비가 내리는 상황과 맑은 상황에서 보행자의 안전을 위한 가로등의 밝기는 달라져야 할 것이다. 즉 비나 안개가 낀 새벽 시간에는 평소보다 1단계 더 밝게 비추어야 보행자가 안전하게 통행을 할 수 있을 것이다. 특히 겨울철에 기온이 영하로 떨어짐과 동시에 습도가 높은 환경, 즉 눈이 내리는 환경이나 결빙의 위험이 있을 시에는 결정된 가로등의 밝기보다 2단계 더 높여서 위험구간을 인지시킴으로써 보행자의 안전사고를 미연에 예방할 수 있다. 이러한 동작을 정리하여 나타내면 표 3과 같다.

표 3. 온도센서와 습도센서를 이용한 조광단계 조절  
Table 3. Dimming control by step using temperature and humidity sensor

환경	온도센서	습도센서(RH)	조광단계조절
안개, 비	0°C 이상	85% 이상	1단계 높임
결빙위험	-1°C 이하	-	1단계 높임
눈	-1°C 이하	85% 이상	2단계 높임

## IV. 실험 결과

본 장에서는 2장에서 소개한 가로등 환경모델을 이용하고 3장의 제안 알고리즘을 사용할 경우, 기존의 저녁 6시에서 새벽 6시까지 지정된 밝기로 점등만 가능한 가로등 시스템과 비교하여 얼마 정도의 에너지 절약효과가 있는지를 확인하는 실험을 컴퓨터를 이용하여 수행한다.

**1. USN을 이용한 지능적 가로등 시스템의 실험 모델**

그림 5는 본 실험에서 가정하고 있는 시스템 환경으로서 각 가로등은 복합 센서노드 정보를 지그비(Zigbee)를 통해 분전함에 송신하고, 분전함은 수집된 정보를 중앙 컴퓨터인 스마트에게 CDMA를 이용하여 전송한다. 스마트는 수집된 정보를 분석하여 효율적인 조광제어를 위해 분전함을 통해 각 가로등에게 명령을 내린다.

**2. 조도와 움직임 센서를 이용한 에너지 절약 실험**

에너지 절약을 위한 제안 알고리즘의 주요한 점은 기존과 같이 일정 시간 일정 밝기로 가로등을 점등하는 것이 아니라, 주변의 건물에 의해 어느 정도의 밝기가 보장된 경우에는 목표 광속과 비교하여 부족한 부분만큼만 추가로 전력을 할당함으로써 최소전력으로 보행자에게 최적의 가로등 밝기를 제공해 준다는 것이다. 또한 사람과 자동차의 통행이 뜸한 심야 시간대에는 움직임 센서를 이용하여 사람이 통행하는 경우에만 가로등을 밝혀서 에너지 소비를 최소화 할 수 있다.

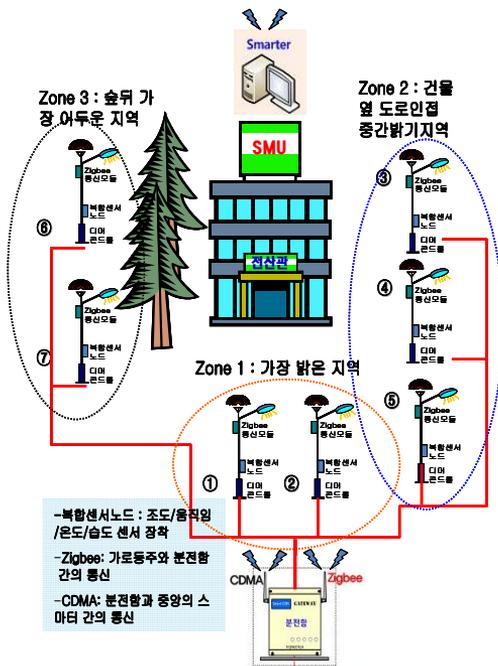


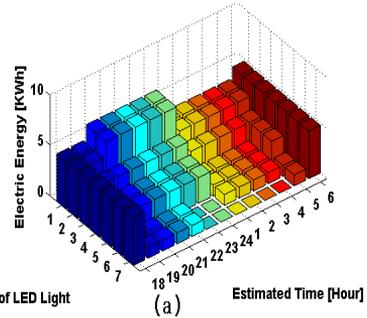
그림 5. 제안 시스템의 실험 시나리오

Fig. 5. Simulation scenario for the proposed system

그림 6은 제안한 조도센서, 움직임 센서를 채택한 경우, 기존 대비 절약된 에너지의 양을 표시한 그림이다. 그림 6에서 조도와 움직임 센서를 동시에 이용한 경우 기존 대비 상당한 양의 에너지 소비를 절약할 수 있음을 알 수 있다. 특히 심야 시간대에는 움직임 센서에 의한 자동 조명 점멸장치를 추가 이용하면, 단순히 조도 센서만 활용한 경우보다 더 큰 이득을 얻을 수 있다.

그림 7에서는 기존 대비, 조도센서만 이용한 경우 또는 조도센서와 움직임센서를 이용한 경우에 각 가로등별로 절약된 총 에너지를 나타내고 있다. 여기서 조도센서의 적용에 의해 Zone1의 가로등이 가장 큰 이득을 보았지만, 움직임 센서를 추가로 도입하면 Zone2와 Zone3의 이득이 상대적으로 높아짐을 알 수 있다. 특히 Zone3와 같은 매우 어둡고 인적이 드문 가로등의 경우 움직임 센서에 의한 에너지 이득이 가장 큼을 알 수 있다.

Saved Electric Energy from Illuminance Sensor at each LED Light per Month



Saved Electric Energy from Illuminance and Motion Sensor at each LED Light per Month

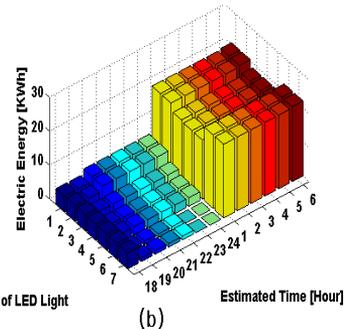


그림 6. (a) 조도센서, (b) 조도센서 + 움직임 센서를 이용한 경우의 기존 대비 절약된 에너지의 양

Fig. 6. Saved energy from (a) illuminance sensor (b) illuminance + motion sensor

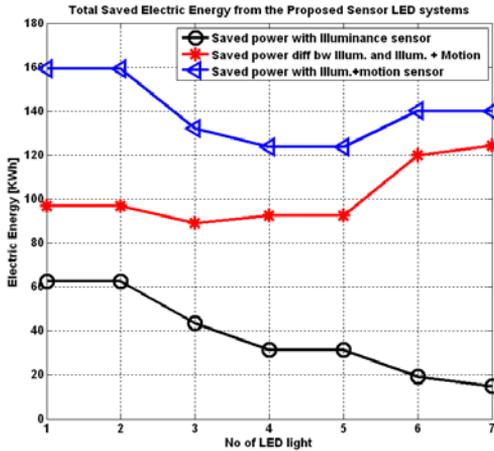


그림 7. 조도 센서와 움직임 센서를 이용한 경우의 기존대비 절약된 총 에너지의 양  
 Fig. 7. Total saved energy from illuminance and motion sensor compared with conventional system

### 3. 추가적인 온도센서와 습도센서를 이용한 보행자의 안정성 강화 실험

그림 8은 겨울철 가로등의 온도센서와 습도센서의 입력을 바탕으로 표 3의 규칙에 따라 보행자의 안정성을 극대화 시킬 수 있도록 LED 가로등의 밝기를 조정한 결과인 광속 값을 나타낸 값이다.

상대습도가 높고 온도가 영하로 떨어지는 자정부터 새벽 5시에는 기준요구치보다 LED 광원의 광속이 높아지는 것을 알 수 있다. 이렇게 가로등에 부착된 복합 센서 노드를 통하여 조도 및 움직임뿐 아니라 습도 및 온도까지의 추가 입력을 받아들임으로써 차량 및 보행자에게 위험이 될 수 있는 결빙구간과 우천에 의한 미끄럼 지역을 더 잘 식별할 수 있게 한다. 즉 복합 센서노드를 도입함에 따라 단순히 전력을 아끼는 수단뿐 아니라 통행하는 사람에게 안전을 보장하는 지능적인 시스템을 제공하게 된다.

결론적으로, 정해진 시간 동안만 동작하는 기존 가로등 시스템의 총 소비에너지인 320kWh 대비, 제안된 시스템은 월평균 140 kWh의 에너지 소비를 절약함으로써 약 40%의 에너지 절약이 됨을 실험을 통해 확인하였다.

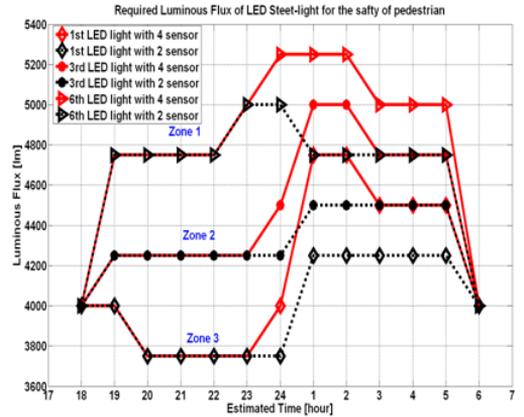


그림 8. 조도/움직임 센서에 추가로 온도/습도센서 이용한 경우의 Zone별 LED 가로등의 요구되는 광속(lm)

Fig. 8. Required flux of light for each LED street-light using the compound of sensors

## V. 결론 및 토의

본 논문은 최근 각광받고 있는 그린 IT의 일환으로 에너지 절감을 위해 가로등의 센서노드와 USN을 이용하여 원격제어를 실시하는 지능적인 LED 가로등 점등 방법을 제안하고, 기존대비 에너지 절감의 효과가 있음을 컴퓨터 모의실험으로 보였다. 상가 및 연구단지 건물 근처는 밤늦게 까지 일정수준의 광원이 존재함에 착안하여, 조도 센서를 통해 목표 밝기에 필요한 최소의 전력을 할당하고 건물 외곽에 어둡고 인적이 뜸한 지역은 조도 이외에 움직임 센서를 추가하여 통행이 있을시에만 점등하게 하여 에너지를 절약한다.

LED 가로등에 온도, 습도, 조도 및 움직임 센서를 부착하여 정보를 수집 후 USN을 이용하여 중앙 컴퓨터인 스마트에게 보내고, 스마트는 이정보를 분석하여 효율적인 가로등의 조광제어 방안을 제공함으로써, 일정 시간 동안만 점등하는 기존 시스템 대비 약 40%의 에너지 절감 효과가 있음을 컴퓨터 모의실험을 통해 알 수 있었다. 특히 조도, 움직임 센서에 추가로 온도, 습도 센서를 활용하면 안개, 우천 및 결빙 시에 광속을 높여 보행자의 안전성을 극대화할 수 있음을 보였다.

본 논문은 이상적인 복합 센서노드의 동작 및 USN을 통한 오류 없는 무선통신을 가정하였으나, 실제 상황에서는 센서노드의 감지성능 및 무선

USN의 전송오류로 인한 성능감쇄 부분을 감안하여야 할 것이다. 앞으로 본 논문의 시스템 모델을 바탕으로 실제 가로등 제어 시스템을 구현 하고, 그 실측 데이터를 측정·분석하여 본 시뮬레이션 결과와 어떻게 다른지에 대한 연구가 진행되어야 하겠다.

Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009.

**저 자 소 개**

**조 변 균**



1994년 : 한양대학교  
전자통신공 학사.  
1996년 : 한양대학교  
전자통신공 석사.  
2006년 : 연세대학교  
전기·전자공 박사.  
1996~2008년 : 삼성전자  
통신연구소 책임연구원.

현재, 세명대학교 정보통신학부 조교수.  
관심분야 : 이동통신, 임베디드 S/W, Smart Grid 시스템.  
Email : mg\_cho@semyung.ac.kr

**김 식**



1979년 : 경북대학교  
컴퓨터공학 학사.  
1991년 : 미국 Texas A&M  
컴퓨터공학 석사.  
2004년 : 일본 오카야마  
현립대학 정보통신공학 박사.

현재, 세명대학교 정보통신학부 교수.  
관심분야 : 임베디드 S/W, Real-time OS.  
Email : shikm@semyung.ac.kr

**양 유 석**



1991년 : 포항공대  
신소재공학 학사.  
1993년 : 포항공대  
신소재공학 석사.  
1998년 : 포항공대  
신소재공학 박사.

1998~2001년 : Hynix 반도체연구소 선임연구원.  
현재, 한국전자통신연구원 책임연구원.  
관심분야 : 센서, MEMS.  
Email : wsyang68@etri.re.kr

**참고문헌**

- [1] 신중현, “그린 IT 기술 동향”, 한국정보처리학회, 정보처리학회지, 2009.
- [2] 박두일, 장대현, “IT 융합기술을 활용한 LED 지능제어 네트워크”, 조명·전기설비학회지, 제23권 제4호, pp 12-17, 2009.
- [3] 장하균, 여인권, 장우진, “산업용 백열전구 대체 LED 조명등 설계”, 한국조명·전기설계학회지, 춘계학술대회 논문집 pp 25-28, 2008.
- [4] 김근영, 김영명, “통신사업자 홈 네트워크 기반의 스마트 그리드 AMI (Automatic Metering Infra-structure) 구축방안”, 한국정보처리학회, 정보처리학회지, 16권 6호, pp. 113-119, 2009.
- [5] 김창곤, “유비쿼터스 사회를 대비한 RFID/USN 정책방향”, 한국통신학회지(정보와 통신) 제25권 제1호, pp. 52-58, 2008.
- [6] 정부만, “USN 적용 현황과 유비쿼터스 컨버전스 전망”, 대한임베디드공학회 논문집 제2권 제2호, pp. 123-127, 2007.
- [7] 장하균, 여인권, 장우진, “산업용 백열전구 대체 LED 조명등의 설계”, 한국조명·전기설비학회, 춘계학술대논문집, pp. 25-28, 2008.
- [8] 이광수, 장우진, “사무실 및 학교교실의 조명용 소비전력량 절감방안 연구”, 한국조명·전기설비학회 추계학술대논문집, pp. 179-182, 2007.
- [9] 김영일, 신진호, 송재주, 이봉재, “RFID/USN 기술을 이용한 전력설비관리 서비스 구현”, 한국정보처리학회, 정보처리학회 논문지, 2008.
- [10] 김재민, 이대남, 등옥석, 정동규, 송도선, “에너지 절약형 가로등 제어시스템”, 2009 한국정보기술학회 논문집, 제1권, pp. 930-933, 2009.
- [11] T.D.C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, B. Gallagher, “Using LED lighting for ubiquitous”, 3rd Asian Embedded Systems Conference, Vol.2, pp. 100-105, Jan, 2006.
- [12] Y. Aoyama, T. Yachi, “An LED module array system designed for streetlight use”,