The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 15, No. 2, pp.129-135, Apr. 30, 2015. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.2.129
JIIBC 2015-2-18

기상예보를 이용한 태양광 LED 가로등의 효율적 운용에 관한 연구

A Study on Efficient Management of Solar Powered LED Street Lamp Using Weather forecast

표세영*, 권오석**, 김기환***

Se-Young Pyo*, Oh-Seok Kwon, Kee-Hwan Kim*****

요 약 본 논문에서는 가로등 운용에 있어서 일기예보 및 일조량을 고려한 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에 의해 생성된 Weather Factor를 적용하여 보행자가 있을 시에는 가로등의 광량을 최대로 유지하고 보행자가 없을 경우 최대전력을 사용하지 않고 일정한 밝기를 유지하는 대기전력모드를 사용하여 전력소비를 줄였다. 이렇게 함으로써 배터리의 잔량을 확보할 수 있으며 이를 이용하여 부조일이 지속될 경우 운용일수를 최대한 연장하기 위한 적절한 알고리즘을 제안하였다. 또한 이러한 알고리즘에 필요한 Weather Factor의 값을 실험을 통하여 결정하였으며. 모의실험을 통해 알고리즘의 적합성을 확인하였다.

Abstract This study, in the operation of street lamp, suggests appropriate algorithm to extend the number of days of street lamp operation as much as possible if the number of sunless days continues and experimentally determines the value of Weather Factor necessary for this algorithm. This is conducted by reducing electricity consumption and securing battery remains through the use of standby power mode, in which maximum amount of light is maintained if there is a pedestrian, and constant brightness is maintained without utilizing maximum electric power if no pedestrians exist, with the application of WFactor value created by the algorithm considering weather forecast and amount of sunlight.

Key Words : LED Street Lamp, solar power generation, weather forecast

Ⅰ. 서 론

오늘날 사회가 발전함에 따라 전력소비량이 눈에 띄게 높아졌다. 1인당 전력 소비량이 세계 최고 수준을 기록하고 있는 실정이다. 국제에너지기구가 발표한 2010년 국가별 소득과 에너지 소비를 보면, 한국의 1인당 전력 소비량은 주요 8개국(한국, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 영국, 미국, 호주) 중 미국과 호주에 이어 3위를 기록했다.[1] 과도한 전력사용량으로 인해 정부도 블랙아웃을 대비해 다양한 대안을 내 놓고 있는 실정이다. 청정에너지 체제로의 이행속도가 빨라지고 있는 현상은 신재생에너지의 확산뿐 아니라 에너지 효율의 변화, 효과적 수요관리를 가능케 하는 기술과 시장의 변화, 이를 받쳐줄 지능형 인프라 측면에서도 나타나고 있다.

*정회원, 세명대학교 전자공학과
**정회원, 한국폴리텍대학 다솜학교
***종신회원, 세명대학교 전자공학과(교신저자)
접수일자 2015년 1월 16일, 수정완료 2015년 2월 20일
게재확정일자 2015년 4월 10일

Received: 16 January, 2015 / Revised: 20 February, 2015 / Accepted: 10 April, 2015
***Corresponding Author: khkim@semyung.ac.kr
Department of Electronic Engineering, Semyung University, Korea

이러한 관점에서 볼 때 현재 운용 중인 가로등 또는 보안등은 필요 유무와 상관없이 항상 일정한 전력을 소비하고 있으며 전력소비를 위해 일정 시간이 지나면 전력을 차단하는 방식이다. 또한 환경오염이나 전력절감을 위하여 기존의 수은등에서 LED등으로 바뀌고 있는 추세이다.

본 논문에서 다루게 되는 방식은 농촌이나 공원 등에서 자립형으로 운용될 필요가 있는 가로등이나 보안등의 경우 태양광을 이용하여 배터리를 충전하고 일기예보를 취득하여 날씨에 따라 인공지능 방식을 도입하여 에너지 사용량을 조절하고 충전되는 에너지와 소비되는 에너지를 상황에 맞게 분배함으로써, 에너지 사용의 효율성을 높이기 위한 방법에 대한 연구이다.

II. 시스템의 개요

가로등은 어두운 도로나 보도에서 운전자나 보행자의 시야확보를 통한 사고예방 및 범죄 예방을 위해 길 가장자리에 높게 설치하는 등을 말하며 광원종류로는 나트륨램프(100W, 250W, 400W), 메탈헬라이드 가로등램프(70W, 100W, 150W, 200W, 350W, 400W)등이 주로 사용되고 있다. LED 가로등은 기존가로등 200W~400W를 90W~150W로 교체 시 동일한 밝기의 유지가 가능하여 50~70% 정도의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다.[3][8]

이것은 에너지의 효율면에서 볼 때 백열등의 경우 광효율이 약 5%, 열에너지 12%, 적외선 방출이 83%를 차지한다. 반면에 LED조명의 경우 발열에 의한 에너지 방출이 85%, 광에너지가 15%정도가 된다.

독립형 태양광 발전식 LED 가로등이나 보안등은 공원, 농어촌, 인적이 드문 곳을 대상으로 주로 사용되어지고 있다. LED가로등은 기존의 약 85%를 차지하는 나트륨등보다 사용전력대비 광효율 면에서 월등히 높으며 그 수명 또한 월등히 길다.

독립형 LED 가로등의 경우 그 특성상 배터리를 사용하여 주간에는 태양으로부터 충전을 하고 야간에는 가로등으로 방전을 하게 되는데 일조량이 좋지 않은 부조일이 길어질수록 가로등 운용이 불가한 날이 발생하게 된다. 또한 가로등의 규격상 독립형으로 운용되는 태양 발전식 가로등은 부조일이 지속될시 규정상 3일간의 운용이 가능하여야 한다.[7] 하지만 장마철의 경우 부조일은 이보다 더 길어지는 경우가 심심치 않게 발생하는 편이다. 평상시 지속적인 전력소모를 하여 배터리로 운용가능한 날이 3일밖에 안 되는 것보다는 불 필요시 광량을 줄이고 필요시에는 최대 광량을 확보하여 보행자의 안전을 도모하는 것이 전력소모에 유리할 것이다[8]. 이것을 위한 방법으로 본 논문에서 제안하는 것이 일기예보를 이용하여 전력소모를 계획적으로 행하는 방식이다. 기상청에서 제공하는 일기예보에서는 태양광 발전과 관련하여 가져올 수 있는 정보는 일조량과 관련된 부분인데 표 1에서 볼 수 있듯이 0~10으로 날씨의 운량을 수치화하여 나타낸다.

표 1. 기상청 제공 일기예보 운량 표시[2]
Table 1. show cloudiness

맑음	구름조금	구름많음	흐림
0~2	3~5	6~8	9~10

기상정보를 바탕으로 앞으로의 대략적인 발전량의 예측이 가능하다. 본 논문에서 실행한 실험에서는 4일간의 예보를 본 논문에서 제안한 알고리즘의 파라미터 값으로 적용하였고 일기예보는 무작위로 실시하였다.

III. 시스템구성 및 알고리즘

본 논문에서는 일기예보를 적용하여 대기전력을 변화시켜 전력절감을 위한 방식, 일기예보와 일조량을 적용하여 대기전력을 변화시켜 전력절감을 위한 방식의 알고리즘과 시스템 구성을 제안하고 이를 검증하고 확인하기 위한 Weather Factor(WFactor)를 구하기 위한 실험을 실시하였다.

전반적인 시스템 구성은 그림 1과 같다. 태양전지판(Solar Cell)으로부터 생성되는 전류를 Solar Controller를 통하여 배터리에 저장된다. Solar Controller는 태양전지판으로부터 발전되는 에너지를 배터리로, 배터리에 저장된 에너지를 부하쪽으로 분배하고 역전류가 흐르지 않도록 조절하는 역할을 하게 된다.

이렇게 생성되고 저장된 에너지는 LED 시스템으로 공급된다. 제어보드는 CDMA 모듈을 통하여 기상청에 접속하여 일기예보에 대한 정보를 취득하고 수집된 일기예보를 이용하여 앞으로의 전력계획을 수립하여 대기전

력을 결정한다. 또한 여러 가지 센서부를 통하여 밤과 낮의 구별, 보행자의 유무판단을 하게 되고 적정시간이 되면 가로등을 점등한다.

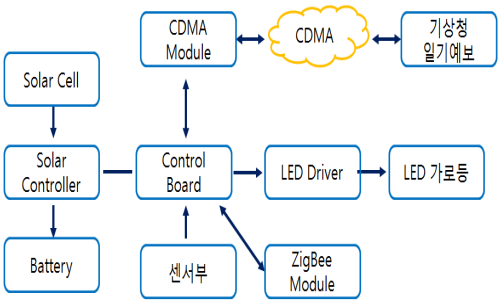


그림 1. 시스템 구성
Fig. 1. System Diagram

ZigBee 모듈은 제어 보드 내에 내장되어 있으며 통신 가능한 근거리에 독립형의 가로등이 존재할 경우 일기예보를 전달하여 CDMA 모듈의 사용을 최대한 줄여주어 CDMA 모듈을 사용함으로써 발생하는 비용을 절감할 수 있다. 여러 개의 가로등이 연속적으로 존재할 경우 CMDA 모듈은 하나의 가로등에만 장착하고 나머지 가로등은 ZigBee 모듈을 통하여 일기예보 및 보행자의 진행 방향을 전달받음으로써 미리 점등을 하여 보행자의 안전을 기한다.

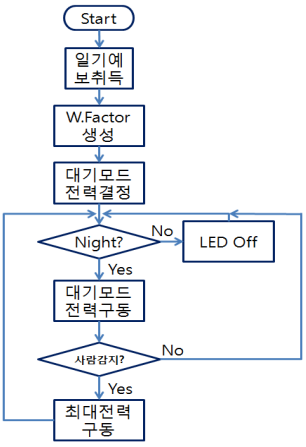


그림 2. 시스템 구동 알고리즘
Fig. 2. System Algorithem

그림 2는 본 시스템 구동을 위한 알고리즘을 나타낸다. 이 시스템의 알고리즘은 CDMA모듈을 통하여 기상청으로 접속을 하여 일기예보를 취득하고 이 일기예보를 이용하여 WFactor를 생성한다. 생성된 WFactor는 대기모드 전력을 결정하는 요소로 사용되어지며 보행자가 감지되지 않고 밤일 경우 대기모드의 전력으로 가로등을 운영하다가 보행자가 나타나고 밤일 경우 최대 광량을 확보한다. 광센서를 통하여 밤/낮을 구분하며 낮일 경우 가로등은 소등한다.

일기예보를 이용한 가로등 운용은 일기예보에 대한 WFactor를 부여하는 것에서부터 시작된다. 일기예보의 운량에 따라 가중치를 두고 4일치의 일기정보를 각각 가중치를 주어 평균값을 구함으로써 WFactor를 부여하였다. 이때 가중치를 구하기 위하여 그림 3의 회로를 이용하여 일기예보를 바탕으로 발전량을 측정하였다.

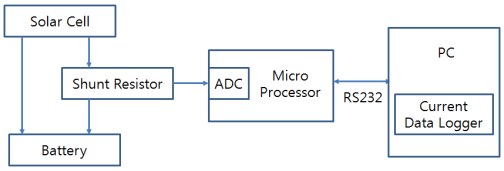


그림 3. 태양전지판의 발전량 측정회로 구성
Fig. 3. Solar panels for electricity measurement circuit

그림 3의 구성을 갖는 회로를 통하여 측정된 데이터는 그림 4와 같으며 이때 구름이 약간 있는 날씨에서 구름에 의한 최대전력생산이 가능한 시간대의 전력생산을 보면 구름에 의하여 전력생산에 영향을 받는 모습을 볼 수 있다.

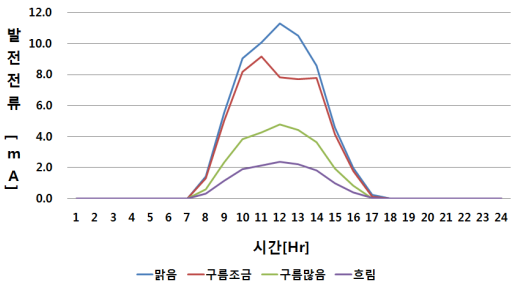


그림 4. 일기예보에 따른 발전량
Fig. 4. Generation According to the Weather forecast

이때 측정된 데이터의 평균전력을 계산하면 표 2와 같다.

표 2. 일기예보에 따른 발전량
Table 2. Generation Accoding to weather forecast

날씨	맑음	구름조금	구름많음	흐림
총발전량 [KW]	63.3	53.1	26.7	3.4
발전비율 [%]	100	83.3	42.1	21.1

일기예보는 수시로 변동되어 근거로 삼기가 곤란한 어려움이 있었다. 또한 운량의 정도에 따라 편차가 발생하여 가중치를 기준으로 삼을 때 표 2의 값을 기준으로 각각 최대치를 100%, 80%, 40%, 20%로 근사화 하여 표3과 같이 산정하였다. 또한 그동안 잘 정리된 데이터를 가지고 있는 혼다사의 데이터를 기준으로 태양광 발전의 발전량과 일기를 참고로 산출하여 본 논문의 WFactor를 결정하였다.[4][7]

표 3. 일기 예보에 따른 WFactor 부여
Table 3. WFactor granted according Weather forecast

일기	맑음	구름조금	구름많음	흐림
WFactor	10	8	4	2

Ⅳ. 모의실험 및 결과

그림 5는 일기예보를 적용한 방식의 LED 가로등을 운용하기 위한 모의실험 결과 값이다.

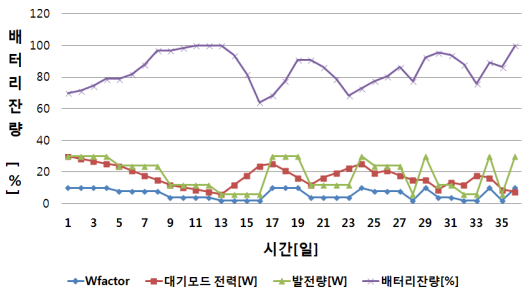


그림 5. 일기 예보에 따른 전력운용 및 배터리 잔량의 모의실험 결과
Fig. 5. Simultion results of power management and battery levels according to regarding of the weather forecasting

그림 6에서 보여 지듯이 같은 일기조건일 경우 부조일이 지속되는 9일차부터는 기존의 가로등이 배터리잔량을 확보하지 못하는 반면 일기예보를 적용한 모델의 경우 대기전력을 줄여줌으로써 배터리의 잔량을 확보하고 있는 모습이 확연히 차이가 난다. 기상조건이 발전에 악영향을 주는 부조일이 빈번히 일어나는 25일차 전후로는 기존방식의 배터리잔량이 최저수준을 유지하는 반면 일기예보를 적용한 방식은 점차 회복되는 모습이 확인된다. 또한 배터리에 저장되는 전력이 일기가 바뀌기 전에 미리 대기전력이 바뀜으로 인하여 배터리의 잔량을 미리 확보함을 알 수 있다. 이렇게 일기가 바뀜으로 인하여 미리 능동적으로 배터리의 잔량을 확보하여 가로등의 운용 가능일을 충분히 늘릴 수 있다.

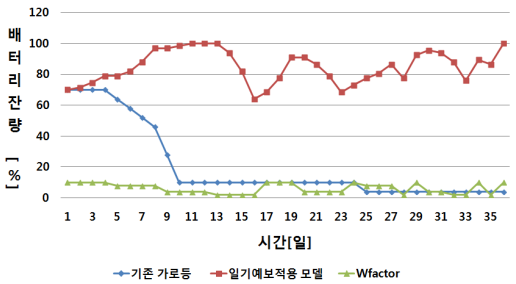


그림 6. 기존 가로등 방식과 일기예보를 적용한 방식의 배터리 잔량
Fig. 6. Amount of remaining battery charge using conventional street lamp system and weather forecasting

그림 6에서 보여지듯이 일기가 지속적으로 발전이 어려운 상황이 되면 기존방식의 경우 배터리 잔량이 거의 남아있지 않는 반면에 일기예보를 적용한 방식의 경우 충분한 배터리 잔량을 확보함을 알 수 있다.

또한 가로등을 운용함에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나가 바로 일조시간이다. 일조시간은 위도에 따라 계절에 따라 달라진다.[5][6] 일기예보를 적용하는 것 만 으로도 전력절감효과는 크다고 할 수 있지만 조금 더 현실적으로 접근한다면 일조시간 적용을 하는 것이 옳다고 생각하여 일기예보에 해당월의 평균적인 일조시간을 기준으로 발전량을 예측하였다.

표 4. 전국 월별 평균 일조시간[7]
Table 4. National monthly average daylight hours

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균 일조시간 [hr]	5.1	6.0	6.1	7.0	6.9	5.8	4.6	5.4	5.6	6.3	5.4	5.1

본 실험에서는 표 4에서 최대 일조시간을 기준으로 최대발전량을 설정하였다. 최대발전량, 최대소비전력 등은 모두 위의 실험들과 동일하게 적용하였다.

그림 7은 평균 일조시간을 고려하고, 기상예보에 따른 대기전력을 제어하는 알고리즘을 적용할 경우 2월에 해당하는 모의실험 결과를 기재하였으며 2, 5, 7, 11월에 해당하는 모의실험 결과는 그림 8에 나타내었다.

그림 7의 그래프에서 20일~ 30일차 사이에서 배터리 잔량에 대한 부분을 자세히 살펴보면 해당월의 일조량에 따라 대기전력을 결정함에 있어 WFactor가 변화하면서 대기전력이 달라진다. 이에 따라 배터리 잔량 역시 미묘하게 변화함을 알 수 있다.

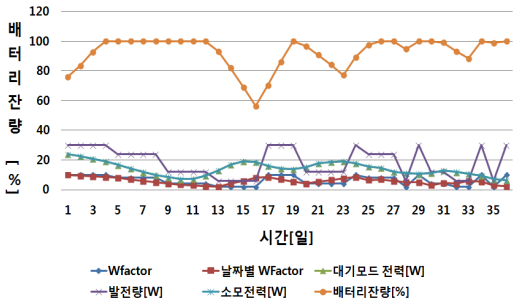


그림 7. 2월 예상 일조시간을 고려한 전력 소비 모의실험 결과
Fig. 7. Power consumption simulation results Considering February average daylight hours

그림 8에서는 일조량에 따라 같은 일기가 지속될 경우 대기전력이 변화함으로써 배터리 잔량이 변화하는 것을 알 수 있다. 초기 배터리가 완전충전 되어있으면서 맑은 날이 지속되는 상황에서도 6일차까지 일조시간을 적용함으로써 배터리의 잔량에서 미세한 차이를 보인다.

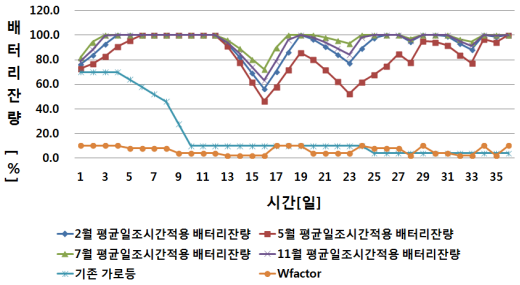


그림 9. 일조시간을 적용한방식과 기존방식의 배터리 잔량 비교
Fig. 9. Power consumption simulation results Considering Monthly daylight hours

그림 9는 기존가로등에 비하여 일기예보와 일조시간을 적용한 모델의 모의실험 결과이다. 그림 9에서 1일차에서 4일차까지의 구간을 자세히 살펴보면 기존가로등의 경우 지속적으로 같은 전력소비를 보여줌으로써 발전량과 소모량이 같아 배터리 잔량이 같음을 알 수 있다. 하지만 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 경우 앞으로의 일기예보에 따라 대기전력이 변화하면서 배터리 잔량은 오히려 증가함을 알 수 있다. 5일차에서부터는 기존가로등의 경우 배터리 잔량이 기상악화로 점차 줄어들고 있지만 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 경우 대기전력을 줄임으로써 배터리 잔량은 크게 변화 없음을 알 수 있다. 부조일이 지속되는 9일차 부터는 기존방식의 경우 배터리 잔량이 최저를 향하는 반면에 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 경우 일정부분까지 하락곡선을 보이다가 일기가 좋아지면서 다시 배터리 잔량을 확보함을 알 수 있다.

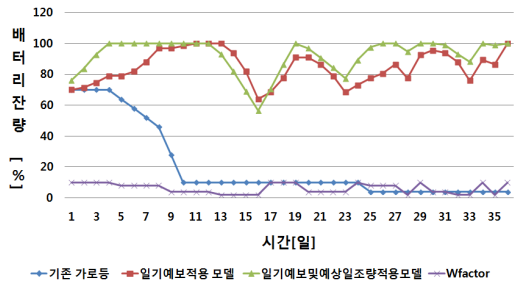


그림 10. 여러 방식으로 운용되는 가로등의 전력소비에 의한 배터리 잔량
Fig. 10. Remaining battery level by the power consumption of the street lamps that operate in three ways

그림 10은 기존방식, 일기예보를 적용한 모델, 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 배터리 잔량을 나타낸 그래프이다. 이 그림에서 기상이 악화되는 9일차부터 살펴보면 기존방식의 경우 배터리 잔량이 10% 이하로 유지가 되는 반면 일기예보를 적용한 모델과 일기예보 및 일조량을 적용한 모델의 경우 70% 이상의 배터리 잔량을 확보함을 알 수 있다.

부조일이 지속될 경우 기존방식은 4일이상의 운용이 불가능함을 10일차부터 16일차 사이의 그래프에서 확인이 가능하다. 반면에 일기예보를 적용한 모델과 일기예보 및 일조량을 적용한 모델의 경우 기상이 악화되더라도 훨씬 긴 시간동안 운용이 가능함을 확인할 수 있다. 최대 운용시간은 대기모드에서의 전력소비를 몇%까지 설정하는가에 대하여 결정되어진다.

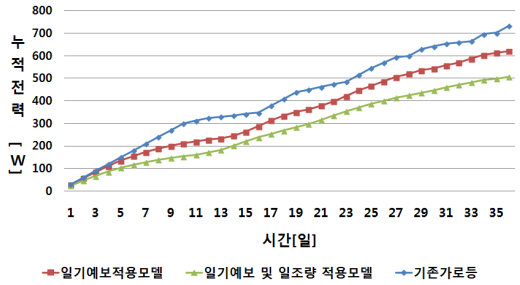


그림 11. 기존가로등, 일기예보를 적용한 모델, 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 누적 소모 전력

Fig. 11. Cumulative power consumption of applying the strreet lamp, forecasts for conventional models, forecasts and a model for applying daylight

그림 11은 세가지 방식에 대한 누적 전력 그래프이다. 여기에서 36일차에서 보면 누적전력은 기존의 가로등방식을 100%로 볼 때 일기예보를 적용한 모델은 84.8%의 전력소모를 보여주고 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 경우 69.1%의 전력소모를 보여주고 있다. 여기에서 각각 일기예보를 적용한 모델은 16.2%의 전력절감을, 일기예보와 일조량을 적용한 모델의 경우 30.9%의 전력절감이 됨을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 세 가지 방식에 대하여 모의실험 및 실험을 실시하였다. 세 가지 방식으로는 기존가로등 방식으로 운용되는 방식, 일기예보를 적용하여 운용되는 방식, 일기예보와 일조량을 고려하여 운용한 방식이며 이 세 가지 방식에 같은 조건에서 모의실험을 실시하였다. 또한 본 논문에서 일기예보 및 일조량을 적용하기 위하여 반드시 필요한 WFactor을 구하기 위하여 실질적인 일기에 따른 발전량을 측정하기 위한 실험을 실시하였다. 이 실험을 통하여 일기예보에 따른 발전량의 정도에 따라 WFactor를 결정하였다.

이 세 가지 비교 모의실험을 통해 기존 방식의 가로등의 경우에 비하여 일기예보를 적용한 모델은 84.8%의 전력을 소비하여 15.2%의 전력절감을 하였고 일기예보와 일조량을 모두 고려한 방식은 69.1%의 전력을 소비함으로써 30.9%의 전력절감이 가능함을 알 수 있었다.

가로등의 운용에 있어서 기존의 방식에서 일기예보를 이용한다면 전력소비를 절감할 수 있다는 것을 실험을 통하여 입증하였다. 평상시 대기모드에서의 전력배분을 현실적으로 어느 정도까지 설정가능 하느냐에 따라 전력절감은 그 크기의 차이가 크다.

본 논문에서 제안한 방식은 여러 가지 변수가 많은 만큼 향후 여러 변수를 고려한 현실적인 방안을 마련해야 하는 것이 앞으로의 과제라 생각한다.

References

[1] KETEP "World Energy Outlook 2012 Energy efficiency, Present and Future(1)“ [KETEP Issue Paper], 2013-01, 2013

[2] www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp

[3] Institute of Korea Testing Certification, “Analysis of LED Lighting Certification’s Trend and Performance”

[4] www.honda.co.jp/solar-power/

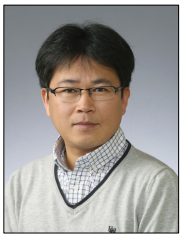
[5] Dok-ki Jo, In-Soo Choi "A Study on the optimal Installation Angle of Solar Absorber Plates in Korea" Solar Energy Vol.18.No2, 1998

[6] National Weather Service “Weather Resources Analysis report for the optimal utilization of solar energy“ Publication of the registration number 11-1360000-00425-01

[7] www.kma.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp
[8] KS C 7658
[9] JaydyLee, chul-hwan Kim "An Analysis of Optimal Installation Condition and Maximum Power Generation of Photovoltaic Systems Applying Perez Model" The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61, No. 5, pp. 683~689, 2012
[10] Sun-Hee Kim, Young-Guen Lee, Su-Hong Seo, Hyung-Joong Joo, Soon-Jong Yoon "Structural Design and Installation of Tracking-type Floating PV Generation System", Composites research = v.27 n.2 (Apr. 2014), pp.59-65
[11] K. H. Kim, S. Y. Pyo, O. S. Kwon "Intelligent street light with forecasts", 2014 Domestic Conference of IWIT vol.12 no. 1, pp. 85-87

저자 소개

표 세 영(정회원)



- 2000년 : 세명대학교 전자공학과 학사
- 2015년 : 세명대학교 전기전자 석사
- 2015년 : 세명대학교 전기전자 박사과정

권 오 석(정회원)

- 2002년 : 세명대학교 교육대학원 전기전자통신 교육학 석사
- 2008년 : 세명대학교 전기전자 박사수료
- 한국폴리텍 다솜학교 Smart 전기과 교사

김 기 환(종신회원)

- 1990년 : 독일지겐대학교 전기전자공학과 Diplom 졸업
- 1995년 : 독일 지겐대학교 전기전자공학과 박사졸업
- 2015년 : 현재 세명대학교 전자공학과 교수

<주관심분야 : 제어, 자동화, 로봇, 친환경 신재생에너지>

※ 이 논문은 2013학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.