태양광 가로등 전류제어 시스템 설계

김변곤* · 정경택* · 정동수* · 이종인*

*국립군산대학교

A design of current control system for solar LED lighting

Byun-gon Kim* · Kyung-taek Chung* · Dong-soo Jeong* · Jong-in Lee*

*Kunsan National University

E-mail : bgkim@kunsan.ac.kr

요 약

태양전지를 이용한 LED 가로등 시스템은 태양광을 이용한 신재생에너지를 효율적으로 이용하기 위한 디지털제어 융합기술이다. 고휘도 LED(Light Emitting Diode)를 이용한 조명 시스템은 수명이 길고, 효율이 높고, 디지털 제어가 가능하여 백열등 및 형광등을 대체할 차세대 친환경 조명으로 주목받고 있다. 제안된 시스템은 태양광을 이용한 지능형 LED 가로등 전류 제어 시스템으로서, 배터리 수명을 연장하기 위하여 충전 방식 개선하고, 배터리 충전 상태와 조명시간에 따라 LED 방전 전류를 효율적으로 제어한다.

키워드

Maximum Power Point Tracking, Puse Width Modulation, Light Emitting Diode

Ⅰ. 서 론

최근 고유가와 지구 온난화로 인해 화석 연료를 대체할 수 있는 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 태양광, 풍력, 지열, 수소에너지와 같은 신재생 에너지는 자연에서 지속적으로 에너지를 생산할 수 있으므로, 지구의 환경을 지키면서 저탄소 녹색 성장이 가능하다.

태양에서 지구로 오는 에너지는 인류가 1년간 사용하는 에너지의 1만 5000배나 되는 엄청난 양이지만, 태양전지의 효율이 낮고 초기 투자비용이 많이 들어, 비용 대비 전력 생산성이 떨어지기 때문에 광범위하게 이용되고 있지는 않다. 그러나 지속 가능한 저탄소 녹색 성장을 위해서는 태양광 에너지를 이용하기 위한 많은 연구와 투자가 꾸준히 이루어져야 한다.[1]

고휘도 LED(Light Emitting Diode)를 이용한 조명 시스템은 수명이 길고, 효율이 높고, 디지털 제어가 가능하여 백열등 및 형광등을 대체할 차세대 친환경 조명으로 주목받고 있다[2]. 고휘도 LED 광원은 빛의 발산과 함께 열 발산을 수반하게 되어 시간이 지날수록 온도가 상승하여 광 출력을 떨어지게 된다. 이를 보상하기 위해서는 더 많은 전류를 흘려줘야 하지만 전류를 많이 흘려주게 되면 LED 기본 특성이 변하게 되므로 방열 설계를 하여 신뢰성을 확보하여야 한다.

본 논문에서 제안한 시스템은 태양광을 이용한 독립형 LED 가로등 시스템으로 태양광 에너지를 제외하고는 다른 에너지를 공급받지 못하므로, 최대한 효율적으로 설계되어 운영되어야 한다. 따라서 일조량이 적고, 온도가 낮으며, 점등시간이 가장 긴 겨울철에도 성능을 유지해야 하고, 이를 효율적으로 제어할 수 있는 시스템을 설계하고자 한다. 태양광용 LED 조명시스템이 안정적이고 효율적으로 동작하기 위해서 효율적인 충/방전, 배터리 상태관리, LED 방전전류제어 등이 시스템의 성능에 많은 영향을 미친다.

독립형 태양광용 LED 가로등 시스템의 효율적 운용을 위하여 방전전류의 제어는 한정된 저장전력을 안정적으로 사용하고, 과 방전으로 인한 배터리 고장과 축전량 부족으로 인한 조기 소등을 방지하기 위하여 배터리 잔량에 따라 적응적으로 동작할 수 있는 제어가 필요하다. 기존 획일적인 점등전류로 인하여 수명이 단축되고, 고장의 한 원인으로 되었던 점도 고려되어야 한다. 또한 기존 백색위주의 LED 조명을 주위 환경에 따라 전체 조도의 영향을 주지 않은 범위 내에서 변화를 줄 필요성이 제기되며, 제어기를 설계할 경우 정확한 규격과 용량을 산출하여 반영해야 한다.

Ⅱ. 태양광 LED 가로등 시스템

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안한 LED 가로등 시스템의 구성은 그림 1과 같이 솔라셀에서 생산된 전력을 배터리에 충전하기 위한 PV(Photo Voltaic) 모듈, 배터리, 고휘도 LED Lamp와 대기 및 축전지 온도센서, LED 방전전류 등 태양광 및 축전지 센서로 구성된 Sensing Part, 그리고 주위 환경과 시스템의 상태에 따라 적응적으로 제어할 수 있는 메인 제어부 등으로 구성되어 있다. 또한, Indicating Part는 시스템의 상태를 표시할 뿐 만 아니라, RS-232(Recommended Standard 232) 시리얼 통신 또는 시리얼 to TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 변환기를 이용하여 TCP/IP 네트워크를 이용하여 시스템의 상태를 모니터링 할 수 있도록 한다.

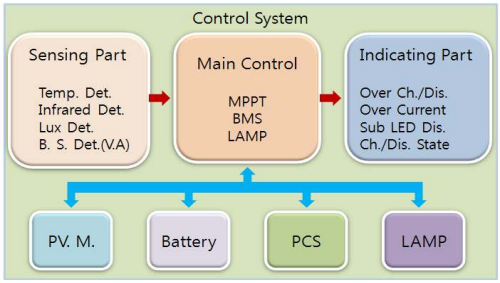

그림 1. 시스템 구성도

2.2 배터리 상태

독립형 태양광 조명 시스템에서 배터리의 잔량 확인은 안정적인 시스템 운영을 위한 필수적인 요소이다. 태양광 LED 가로등 시스템의 충전 시에는 과충전을 방지하고, 방전 시에 과방전을 방지할 수 있도록 배터리의 상태에 따라 시스템의 제어를 수행해야 배터리 및 시스템의 수명을 연장할 수 있다. 배터리의 상태에 따라서 제어를 수행하기 위해서 배터리의 SoC(State of Charge)를 계산하는 것이 중요한 부분인데, 이는 배터리의 충전 및 방전 특성곡선에서 배터리 단자전압을 측정하여 구할 수 있다.

그림 2와 3은 배터리의 충전 및 방전 과정에서의 배터리 전압과 SoC의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 C/XX는 배터리 용량에 따른 전류를 나타낸다. 예를 들어 배너리 용량이 100 Ampere-Hours 일 때, C/20은 5 Amperes의 충□방전 전류를 나타낸다. 배터리의 충전전류는 날씨와 태양광의 양에 따라서 일정하지 않기 때문에 배터리의 충전전압을 이용하여 SoC를 판단하는 것보다 제어가 가능한 방전전류를 이용하여 배터리의 SoC를 측정하는 것이 바람직하다.

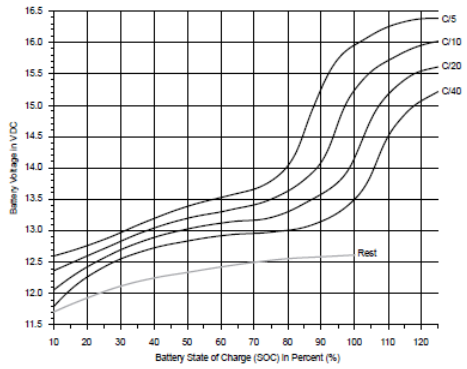

그림 2. 충전중 배터리 전압과 SoC 관계

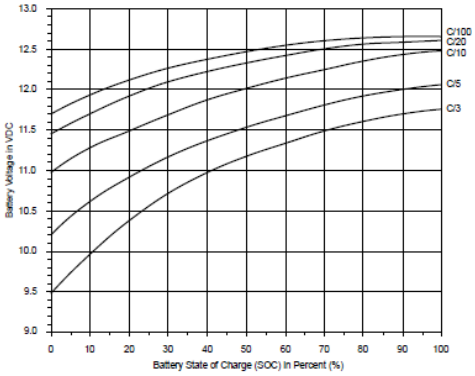

그림 3. 방전중 배터리 전압과 SoC 관계

$$SoC_1 = \frac{Q_1}{Q_{MAX}} \quad SoC_2 = \frac{Q_2}{Q_{MAX}} \qquad (1)$$

$$Q_{MAX} = \frac{\triangle Q}{SoC_1 - SoC_2} \qquad (2)$$

식(1)에서 SoC_1은 일정 전류로 방전을 시작한 시점에서의 배터리 전압을 측정하여 계산한 값이고, SoC_2는 일정 전류를 일정시간 동안 방전한 후의 배터리 전압을 측정하여 계산한 값이다. 식(2)에서 $\triangle Q$의 값은 방전전류 × 방전시간으로 계산할 수 있으므로 Q_{MAX}를 계산할 수 있다. 충전에 의한 배터리 전압의 영향을 최소화하기 위해 방전을 시작하고 일정 시간이 지난 후에 배터리 측정 전압과 Q_{MAX}를 이용하여 다음과 같이 잔량을 계산할 수 있다.

$$Q_C = SoC_C \times Q_{MAX} \qquad (3)$$

$$R_{DAY} = (Q_C - \alpha \times Q_{MAX}) / Q_{DAY} \qquad (4)$$

위 식에서 Q_C는 현재의 용량, SoC_C는 현재 SoC, R_{DAY}는 잔량, α는 방전 심도, Q_{DAY}는 1일 방전량 이다. 배터리의 잔량에 따라 LED 방전 전류를 다음과 같이 제어한다. LED 방전 전류는 그림 4와 같은 방전 구간에 따라 다르게 제어한다.

(1) 잔량 3일 이상: ①③ 100% 점등, ② 50% 점등

(2) 잔량 3일 이하: ①③ 100% 점등, ② 30% 점등
(3) 잔량 2일 이하: ①③ 60% 점등, ② 30% 점등
(4) 잔량 1일 이하: ①③ 30% 점등, ② 30% 점등

배터리의 과방전을 방지하기 위하여 배터리 전압이 기준전압 이하로 떨어지면, 1차에서는 30% 점등하고, 30% 점등 상태에서 다시 기준전압 이하로 떨어지면, 2차에서는 방전 전류를 차단하는 2-step 방식으로 배터리의 과방전을 방지한다. 이와같이 배터리의 SoC와 동작전압에의하여 배터리 과방전을 보호하여 LED 가로등의 수명을 연장하고자 하였다.

2.3 LED 방전 전류 제어

LED 방전 전류 제어는 PWM 제어를 이용하여 제어한다. ON 구간의 LED 방전 전류를 측정하여 일정 전류가 되도록 PWM duty 비를 제어한다. 이러한 방식의 제어에서 ON 구간의 전류가 매우 클 경우 duty 비를 제어하여 평균전류를 유지할 수 있지만, 짧은 시간에 많은 전류가 LED에 흐르게 되어 LED 효율에 좋지 않은 영향을 미치므로 전류제한 회로를 이용하여 최대전류를 제한하는 방식을 같이 사용하였다.

LED 가로등의 방전전류를 이용시간이 많은 시간에 크게 하고, 그렇지 않은 시간에 작게 한다면 적은 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다. 전체적인 점등 전류 제어 방법은 그림 4와 같이 구간을 정하여 3단계 방식으로 제어를 한다. ①번 구간은 초기점등 후 6시간으로서 사람의 활동량이 많은 시간이고, ②번 구간은 심야 시간대로서 사람의 활동량이 뜸한 시간이며, ③번 구간은 해 뜨기 한 시간 전으로서 사람이 활동을 개시할 시간이다.

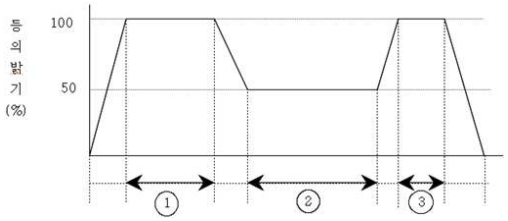

그림 4. 구간별 점등율

Ⅲ. 시스템 구현

본 연구에서 제안한 지능형 LED 가로등 시스템은 그림 5와 같다. 일반적으로 LED 조명은 드라이버 IC를 이용하여 정전류 제어를 하고 있는데, 제안한 LED 가로등 시스템에서는 드라이버 IC가 없어도 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용하여 LED 전류 제어가 가능하다. LED 가로등 출력 용량이 결정되면, 그림 4와 같은 구간별 시간 및 용량을 계산한다.

그림 5. 태양광 LED 가로등 시스템

점등 시간은 겨울철을 기준으로 전체 14시간이고, 구간 ①은 6시간, ②는 7시간, ③은 1시간을 기준으로 1일 전력 사용량을 계산한다. 1일 전력 사용량이 계산되면 이를 기준으로 솔라셀 용량과 배터리 용량을 계산한다. 솔라셀 용량은 1일 3시간 충전을 기준으로 1일 전력 사용량 보다 커야 하며, 배터리 용량은 부조일과 방전 심도를 고려하여 계산한다.

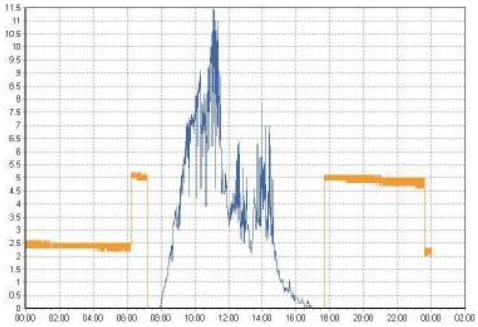

그림 6. 1일간 충방전 전류 모니터링

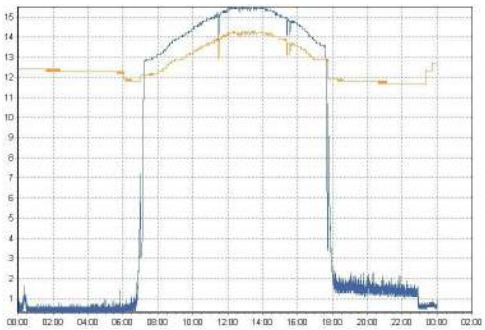

그림 7. 1일간 충방전 전압 모니터링

LED 가로등의 점등 및 소등 시점은 GPS(Global Positioning System) 또는 RTC(Real Time Clock)을 이용할 수 있으나, 비용을 고려하

여 솔라셀 측정 전압을 이용하였다. 그런데 솔라셀 전압은 구름이 아주 많이 끼거나, 그림자, 특히 겨울철 눈이 쌓이는 등의 영향으로 낮을 밤으로 잘못 인식하여 점등 할 수 있다. 이러한 오동작은 독립형 시스템에서 배터리 과방전으로 인해 배터리 수명이 단축되는 문제가 발생한다. 이러한 오동작을 방지하기 위하여 내장 타이머를 이용하여 낮과 밤의 평균시간의 측정하고, 가로등의 점등 및 소등 시점을 결정하는데 이용하였다.

LED 가로등 시스템의 모니터링은 제어기로 부터 시리얼 통신을 이용하여 솔라 전압, 배터리 전압, 충전 전류, 방전 전류 및 온도 데이터를 주기적으로 수집하고 저장한다. 그림 6은 하루 동안의 충□방전 전류를 모니터링한 그래프이다. 충전전류는 흐린 날씨의 영향으로 변화가 심하다는 것을 알 수 있다. 방전 전류는 각 구간별로 일정 전류 제어가 되고 있는 것을 알 수 있으며, 그림 7은 하루 동안의 충방전 전압 그래프이다. 배터리 전압은 충전 중에 상승하고 방전 중에 하강하는데, 많은 전류가 방전할 때 더 많은 전압 강하가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 전압 강하로 인한 배터리의 과방전을 방지하기 위하여 배터리의 동작전압과 SoC에 의한 LED 방전 전류 제어를 수행하였다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 솔라셀을 이용한 독립형 LED 가로등 시스템을 설계하였다. 솔라셀을 이용한 독립형 시스템은 겨울철에 부족한 일조량, 추운 날씨, 눈 등의 영향으로 가장 취약하다. 겨울철의 열악한 환경을 극복하기 위하여 배터리의 SoC 따라 방전 전류 제어를 제어하였다. 또한, 가로등의 효율적인 이용을 고려하여 구간 별로 방전 전류를 제어하였다.

추후 연구 과제는 무선 센서 네트워크를 구축하여 독립형 태양광 발전 시스템의 상태를 통합 관리할 수 있도록 구성하고, TCP/IP 네트워크를 이용하여 솔라모듈의 발전량, 충전량, 배터리 상태(전압, 온도, 교체시기 등), 가로등의 점□소등 시간, 점등 전류량 등을 원격지에서 통합 관리할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 네트워크 구성은 소규모 신재생 에너지 및 분산 전원의 계획적인 제어를 통하여 주 전력망으로부터 분리되어 운전될 수 있는 “마이크로그리드(Microgrid)" 기술을 연구하는 바탕이 될 것이다.

참고문헌

[1] 조태형, “적극적인 신재생에너지사업으로 녹색성장 견인”, 전기저널 제389호, 2009년 5월

[2] 백승헌, 정인영, “LED광원과 형광광원의 상관색온도가 시작업 성능에 미치는 영향”, 조명 전기설비학회논문지 제 23권 제1호, 2009년 1월

[3] Hannes Knofp "Analysis, simulation, and evaluation of Maximum Power Point Tracking(MPPT) methods for a solar powered vehcle", MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGNEERING, Portland state university, 1999.

[4] 서철식 외 4인, “배터리관리시스템(BMS)을 이용한 배터리 잔존수명(SOH) 추정 알고리즘에 관한 연구”, 한국조명 전기설비학회 2008춘계학술대회 논문집, 2008년 5월

[5] 송정용 외 5인, “Battery SOC(State of Charge)측정을 통한 태양광발전 시스템 개선 방안 연구”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회논문지, 2005년