Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(6) : 18~27
DOI : 10.5207/JIEIE.2011.25.6.018

논문 25-6-3

태양전지 이용을 위한 LED 조명 제어기 설계

(A Design of LED Lighting Controller for use of Solar Battery)

김변곤* · 이옥재**
(Byun-Gon Kim · Ok-Jae Lee)

Abstract

LED lighting because of high efficiency, long life, friendly environment, as a general lighting of the next generation, has been substituted for incandescent bulb and fluorescent lamp. The proposed system for use of solar battery is the intelligent controller for LED street lights which is improved the method of battery charging and charging efficiency in winter to extend battery life cycle, controlled lighting current according to SoC and in steps. Also, it is implemented emotional lighting which is controlled with the surrounding environment, by using colorful sub LED to take up 10[%] of a source of total light, white LED. As a lab results, the proposed system was implemented functions to adapt to the environmental changes, and improved the charging efficiency and battery life cycle.

Key Words : Maximum Power Point Tracking, Battery Management System, State of Charge

1. 서 론

1.1 연구의 배경

현재 저탄소 녹색 성장을 위해서 태양광 에너지를 이용하기 위한 많은 연구와 투자가 이루어지고 있으며, 2010년 태양광발전 시장규모는 361억 달러로 연평균 26.4[%]의 성장을, 태양전지(셀, 모듈)는 2010년 118억 달러로 연평균 23.0[%]의 성장을 할 것으로 예상되고 있다[1].

* 주저자 : 군산대학교 전자공학과 부교수
** 교신저자 : 원광보건대학 영상컨텐츠과 교수
Tel : 063-840-1334, Fax : 063-840-1339
E-mail : bgkim@kunsan.ac.kr
접수일자 : 2011년 3월 24일
1차심사 : 2011년 3월 29일
심사완료 : 2011년 4월 21일

신재생 에너지는 효율적인 생산 뿐 만아니라 생산된 에너지를 어떻게 효율적으로 사용할 것인가는 매우 중요한 문제이다. 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].

본 논문에서 제안한 시스템은 태양광 에너지를 이용한 독립형 가로등 제어 시스템으로서 솔라셀, 배터리, LED 가로등 및 센서로 구성된다. 태양광을 이용한 독립형 조명 시스템은 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 태양광용 지능형 조명 제어기를 설계하고자 한다.

1.2 문제점 및 요구사항 분석

태양광용 LED 조명시스템이 안정적이고 효율적으로 동작하기 위해서는 효율적인 충전방식과 주위 환경 적응적 제어기능을 가지고 있어야 한다. 충전 효율은 낮고, 점등시간은 긴 겨울철과 같은 열악한 환경에서 성능을 유지하기 위해서, 태양광 발전 방법은 MPPT(Maximum Power Point Tracking)[3-5] 기능을 가지고 있어야 하며, 발전 전력의 충전 효율을 높이기 위해서 BMS(Battery Management System) 기능이 내장되어야 한다[6]. 배터리는 충전하면 잔존용량(SoC: State of Charge)의 증가와 함께 전압이 상승하고 방전시에는 반대로 전압이 감소하는 특성을 갖는다[7-8]. 독립형 태양광발전 시스템에서 충·방전 제어가 적절치 못할 경우 과충·방전에 의한 배터리 고장이 발생하기 쉽기 때문에 BMS 모듈의 역할은 매우 중요하다. 또한 혹한기에는 납축전지 특성상 충전효율이 감소하기 때문에 이에 대한 대책도 마련되어야 한다.

독립형 태양광용 LED 가로등 시스템의 효율적 운용을 위하여 방전전류 제어 또한 중요한 요소이다. 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. 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.

2. 지능형 LED 조명 제어기

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안한 지능형 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, 조도센서, 적외선 센서, 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 표시할뿐만 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. 마지막으로 부조일 증가로 인하여 축전지 잔량이 부족하고, 상용전원 220V를 이용할 수 있는 경우에 자동으로 전환할 수 있는 PCS(Power Conditioning System)를 옵션으로 구성할 수 있다.

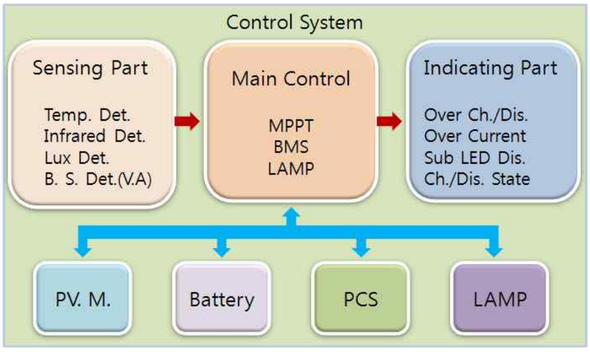

그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. The construct of the system

2.2 MPPT 충전

MPPT는 태양전지에 연결된 부하의 임피던스 매칭을 최적화함으로서 최대 출력점 동작이 가능하게 되며, 태양광 발전 시스템에서는 MPPT 특성이 좋은 P&O법이나 IncCond법이 많이 적용되고 있으나, 태양광 가로등의 경우는 전지 충전 상태에 따라 제어 전압을 약간씩 변화시켜 주는 일정전압 제어법(CV: Constant Voltage)이 더욱더 효과적인 제어 방법이다.

그림 2에서 V_{sa}는 태양전지 전압이고, i_{sa}는 충전전류, i_L은 부하전류이며, V_B는 밧데리 전압이며, 태양전지에서 부하에 전달되는 전력 P_{vv}는 $V_{sza}1$와 i_{sa}를 곱한 값이다. 일정전압 제어법은 PV특성을 고려하

여 그림 2와 같이 적용 가능한 기법을 분석해보면, dP_{pv}/dV_{sa}의 값이 영(Zero)이 되도록 V_{sa}를 제어하면 최대 전력점을 추적할 수 있다. V_{sa}의 제어는 스위치 신호 u를 이용하여 제어할 수 있다. 스위치를 u를 ON하면 V_{sa}의 값은 하강하고 V_B의 값은 상승하며, OFF하면 V_{sa}의 값이 상승하고 V_B의 값은 하강하게 된다. 또한 MPPT 충전 알고리즘과 함께 배터리의 과충전 방지 및 성능을 유지하기 위하여, 3단계 충전 알고리즘을 사용한다. 1단계 BULK CHARGE 단계에서는 MPPT 제어 주기 동안 V_{sa}의 평균값을 측정하여 최대 전력점 전압보다 작으면 스위치 u의 ON duty를 감소시키고, 최대 전력점 전압보다 크면 스위치 u의 ON duty를 증가시킨다. 2단계인 ABSORPTION 단계와 3단계인 FLOAT 단계에서는 MPPT 제어 주기 동안 V_B의 평균값을 측정하여 일정 기준전압보다 작으면 스위치 u의 ON duty를 증가시키고, 일정 기준전압보다 크면 스위치 u의 ON duty를 감소시켜서 제어를 수행한다.

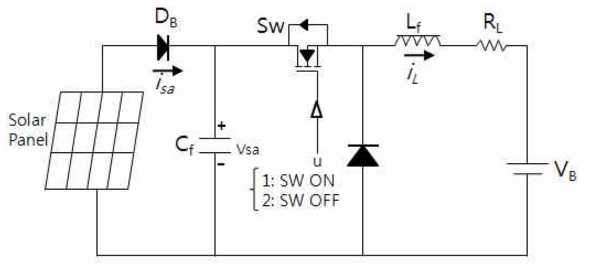

그림 2. MPPT 충전 회로
Fig. 2. MPPT Charge Circuit

2.3 BMS(Battery Management System)

2.3.1 듀얼 모드(Dual Mode) 방식 제어

BMS는 독립형 태양광 시스템 특성을 고려할 때 불규칙적인 일조량과 짧은 충전시간에 대응하여 충전효율을 높일 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 기존 여러 개의 배터리를 병렬로 연결하여 사용하는 방법보다는 충전용과 방전용 배터리로 나누어 각각 선택제어를 하는 듀얼 모드(Dual Mode) 방식으로 동작하도록 설계한다. 듀얼 모드 방식은 충전초기에 배터리 잔량이 적은 배터리 B1은 충전용, 잔량이 많은 배터리 B2는 방전대기로 설정된다. B1의 배터리가 충전이 완료되면, 자동으로 B2로 전환되어 충전을 시행하고, 야간이 되어 점등을 할 경우에는 반대로 배터리 잔량이 많은 B1 배터리가 방전되며, 잔량이 적은 B2 배터리는 대기하여 B1 배터리가 방전 종료전압(11.7[V])이 될 경우 B2로 전환된다.

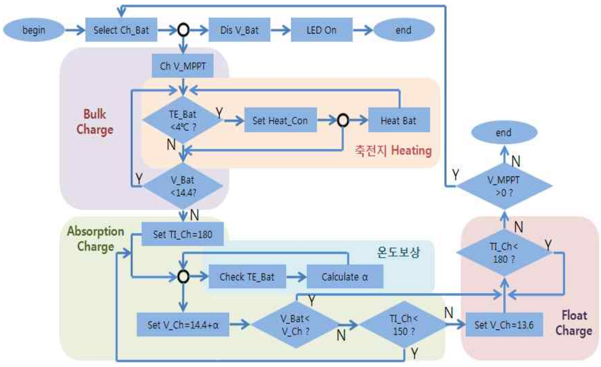

그림 3. BMS 알고리즘
Fig. 3. BMS algorithm

이와 같은 듀얼 모드 방식의 장점은 방전 종료전압 내에서 병렬연결 대비 방전심도가 깊어 충전효율이 향상되며, 배터리 수명과 관련된 충·방전 횟수(Cycle)가 1/2로 줄어들어 수명이 연장된다. 이는 불규칙적인 일조량과 빠른 시간 내에 충전을 시행해야 하는 태양광 조명 시스템에 적합한 방식이다. 또한 이 방법은 방전 종료 전압 내에서 방전심도를 깊게 함으로써 충전 메모리 효과를 얻을 수 있으며, 병렬연결 방식보다 개별적인 배터리 교체가 가능하여 유지보수가 용이한 장점을 가지고 있다. 듀얼모드 방식의 BMS 알고리즘은 그림 3과 같다.

2.3.2 혹한기 충전 향상 제어

납축전지의 일반적 충전 특성은 축전지 내부 온도가 4[℃] 이하일 경우에는 충전 효율이 감소된다. 우리나라 겨울철 온도 조건을 분석해 보면 오전에 태양전지에서 발전을 하더라도 대기 온도가 4[℃]이하일 경우의 날씨가 많다. 따라서 이와 같은 기후 조건에서

는 충전 효율이 떨어지기 때문에 태양광의 발전 전력의 일부를 PWM(Pulse Width Modulation) 방식으로 배터리의 내부 온도를 상승시키는데 이용한다. 온도를 상승시키는 방법은 배터리 온도를 감지하여 그림 4와 같이 Heating 조건에 따라 발열 부재인 직조발열체를 통하여 배터리 온도를 상승시킨다. Heating 시간은 1.5시간 이내로 하고, 배터리 외부를 단열재로 보완한다.

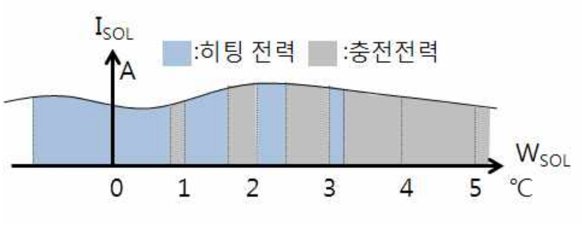

그림 4. Heating 조건
Fig. 4. The condition of heating

2.4 배터리의 잔량확인 및 LED 제어

독립형 태양광 조명 시스템에서 배터리의 잔량 확인은 부조일 제어 및 점등전류 제어와 직접적인 관련이 있기 때문에 중요한 요소이다. 기존 시스템은 배터리 잔량과 관계없이 획일적인 점등으로 인하여 고장의 한 부분으로 작용하였기 때문에, 배터리 잔량에 따라 점등전류를 제어해야 하는 것이 필수적이다. 배터리의 SoC(State of Charge)는 배터리가 충전할 수 있는 최대 전하량(Q_{MAX})과 현재 남아있는 전하량(Q)의 비율로 정의되며, 배터리의 충전 및 방전 특성곡선에서 배터리 단자전압을 측정하여 구할 수 있다.

$$SoC_1 = \frac{Q_1}{Q_{MAX}} \quad SoC_2 = \frac{Q_2}{Q_{MAX}} \tag{1}$$

$$Q_{MAX} = \frac{\triangle Q}{SoC_1 - SoC_2} \tag{2}$$

식 (1)에서 SoC_1은 방전 시작 시점에서의 배터리 전압을 측정하여 구한 값이고, SoC_2는 일정 전류를 일정 시간 동안 방전한 후의 배터리 전압을 측정하여 구한 값이다. 식 (2)에서 $\triangle Q$는 방전 시 소모한 전하량으로서 방전전류와 방전 시간을 측정하여 방전전류와 방전시간을 곱하여 계산할 수 있다. 따라서 수식 (2)를 이용하여 Q_{MAX}를 계산할 수 있다. 이렇게 Q_{MAX}를 다시 계산하는 것은 배터리의 성능이 배터리 사용기간, 주변온도, 동작 조건 등에 따라서 변화하기 때문이 이를 반영하기 위해서이다. 또한 충전에 의한 배터리 전압의 영향을 최소화하기 위해 방전을 시작하고 일정 시간이 지난 후에 배터리 전압을 측정하여 하루 단위로 Q_{MAX}를 계산하고 Q_{MAX}를 이용하여 다음과 같이 남아있는 전하량을 계산한다.

$$Q_C = SoC_C \times Q_{MAX} \tag{3}$$

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

위 식에서 Q_C는 현재의 전하량, SoC_C는 현재 SoC, R_{DAY}는 1일 방전 전하량, α는 방전 심도, Q_{DAY}는 1일 방전 전하량 이다.

전체적인 점등 전류 제어 방법은 그림 5와 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. 즉, 겨울철 14시간 점등기준으로 ①번 구간 6시간, ②번 구간 7시간, ③번 구간 1시간으로 구성된다.

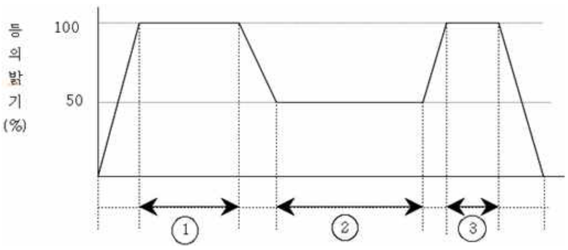

그림 5. 구간별 점등율
Fig. 5. Lighting rate of LED in steps.

이와 같은 3단계 제어 방식을 기초로 배터리 잔량에 따라 점등 전류를 다음과 같이 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

3. 시스템 구현 및 모니터링 시스템

3.1 시스템 설계 및 구현

태양광용 LED 조명 제어 시스템의 구현을 위하여 솔라셀 용량, 배터리 용량, LED 램프, 제어기의 규격이 정의되어야 한다. 각 부분품의 용량은 겨울철 14시간 점등 기준으로 설계가 되어야 하기 때문에, 솔라셀 용량은 1일 평균 3시간 충전을 기준으로, 1일 전력 사용량보다 커야 하며, 배터리 용량은 부조일과 방전심도를 고려하여 계산되어야 한다. 그림 5의 점등구간 기준으로, 1일 14시간 점등, 부조일 3일로 사용할 경우, 각 LED 램프별 사양을 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. LED 조명 시스템 사양
Table 1. The spec. of LED lighting system

LED 출력([W])	솔라셀 용량([W])	축전지 용량([AH])	비고
30[W]	140	112	12[V]/2.5[A]
40[W]	186	150	12[V]/3.3[A]
50[W]	230	180	12[V]/4.2[A]
60[W]	280	225	12[V]/5.0[A]
70[W]	320	260	12[V]/5.8[A]

표 2. 온도에 따른 보조 LED 제어
Table 2. The control of sub LED according to temperature

온도 / 색	영하	0~5[℃]	6~10[℃]	11~20[℃]	21~25[℃]	26~30[℃]	30[℃] 이상
R or A	90[%]	80[%]	65[%]	50[%]	35[%]	20[%]	10[%]
B or G	10[%]	20[%]	35[%]	50[%]	65[%]	80[%]	90[%]

LED 램프는 Main LED(White) 90[%]와 함께 Sub LED(Blue or Green, Red or Amber) 10[%]를 ① 계절에 따라 봄/가을에는 Blue(Green), Red(Amber)를 모두 점등하고, 여름에는 시원한 느낌이 들도록 Blue (Green)을 점등하며, 겨울에는 따뜻한 느낌이 들도록 Red(Amber)를 점등하거나, ② 시간에 따라 Sub LED를 규칙적, 혹은 불규칙적으로 점등하거나, ③ 대기온도에 따라 Sub LED를 점등할 수 있도록 선택할 수 있다. 대기 온도에 따라 Sub LED 점등 비율을 변화하여 감성조명을 구현한 기준을 표 2에서 보여주고 있다.

표 3. 컨트롤러 동작 사양
Table 3. The operating spec. of controller

항 목	동작 사양
시스템 정격 전압	DC 12[V]
최대 입력 전압	DC 25[V]
정격 입력 전류	DC 10[A]
정격 출력 전류	DC 10[A]
과 충전 차단	DC 14[V]
저 전압 차단	DC 11.7[V]
저 전압 재연결	DC 12.8[V]
동작 온도	-35[℃]~60[℃]
제 원	124(w)x106(l)x40(h)[mm]

그림 6. Controller와 BMS
Fig. 6. Controller and BMS

태양광용 LED 조명 시스템이 정상적으로 구현되기 위해서는 이를 제어할 수 있는 제어기가 정상 동작을 해야 하고, 사용자의 요구사항과 주위 환경에 적응하도록 설계되고 구현되어야 한다. 본 논문에서 구현한

주 제어기의 동작사양은 표 3과 같고, 구현된 제어기와 BMS 사진은 그림 6과 같다.

또한 독립형 태양광용 LED 조명 시스템에서는 배터리 충전 효율이 매우 중요하기 때문에 BMS 기능이 있어야 하며, 이를 구현한 동작사양은 표 4에서 보여주고 있다. 구현된 제어기에 병렬로 배터리를 연결하여 사용할 경우에는 제어기의 배터리 단자에 직접 연결하여 사용하면 되고, BMS 기능을 가미한다면 제어기에 BMS를 연결하여 사용하면 된다. 또한 선택사항으로서 BMS에 교류 220[V] 전원을 인입하면, 부조일이 초과되어 배터리 잔량이 없을 경우, 교류 전원으로 자동 전환 및 복구되는 PCS 기능을 가지고 있다.

표 4. BMS 동작 사양
Table 4. The operating spec. of BMS

항 목	동작 사양
시스템 정격 전압	DC 12[V]
최대 입력 전압	DC 25[V]
정격 입력 전류	DC 15[A]
정격 출력 전류	DC 15[A]
교류 전원	AC 220[V]
히터 전원	Option
동작 온도	-35[℃]~60[℃]
제 원	124(w)x106(l)x40(h)[mm]

3.2 결과 및 모니터링 시스템

3.2.1 듀얼 모드 방식

병렬연결 방식과 듀얼모드 방식의 충 · 방전 효율을 비교하기 위하여 항온항습기의 20[℃] 환경에서 실험을 반복한다. 불규칙적인 태양광 발전은 실험에 한계가 있기 때문에 전원공급기를 이용하며, 배터리는 노후화 직전의 12[V]/40[AH] 배터리 2개를 이용하고, 먼저 병렬연결방식을 시행하고 다음에 듀얼모드 방식의 실험을 반복하여 평균값을 얻는다. 노후화된 배터리를 사용하는 이유는 가능하면 가혹한 환경에서 결과를 얻기 위함이고, 용량이 적은 배터리를 사용한 이유는 용량이 적을수록 더 민감하게 작용하기 때문이다. 충전특성 실험은 전원공급기를 이용하여 15[V]/10[A]를 공급하여 충전을 시행하고, 병렬연결은 40[AH]x2로서, 듀얼은 각각 충전을 시행한다. 그 결과를 그림 7에서 보여주고 있다.

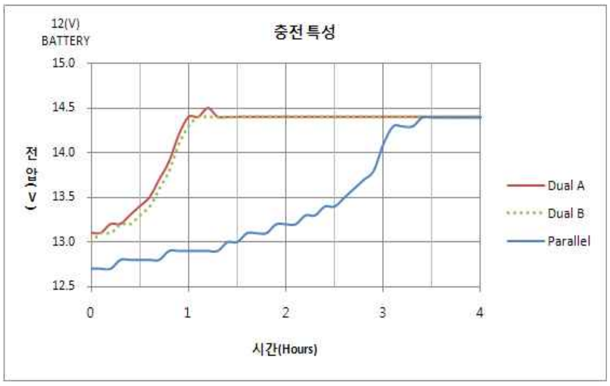

그림 7. 충전 특성
Fig. 7. The characteristic of charge

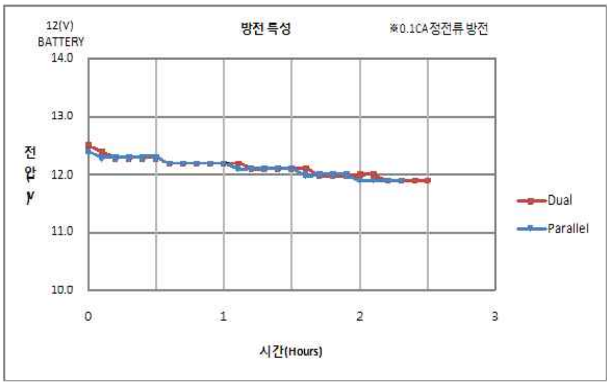

그림 8. 방전특성 A
Fig. 8. The characteristic of discharge A

그림 7에서 듀얼방식의 충전 배터리는 1.25시간 후 Absorption과 Floating 충전단계에 접어들고, 병렬방식은 3.5시간 후에 접근함을 알 수 있다. 그림에서 듀얼방식은 BMS 운용에 따라 2.5시간 동안 Bulk 충전을 완료하지만, 병렬 방식은 3.4시간이 되어야 Bulk 충전을 완료한다는 것을 의미한다. 우리나라 1년 동안 평균 태양광 발전 시간이 3시간이고, 태양광 발전이 불규칙임을 고려할 때 듀얼모드 방식이 제어기의 충전상태에 따라 충전시간을 제어하면 충전효율이 개선

됨을 알 수 있다. 이는 방전 심도가 깊을수록 동일한 충전 전류일지라도 충전효율이 개선됨을 의미한다.

그림 8은 모든 배터리를 만 충전한 후 듀얼방식의 배터리 1개와 병렬방식의 배터리를 전자부하기를 통하여 12[V]/0.1[CA]로 방전실험 시행한 결과이다. 즉 40[AH] 배터리는 4[A]로 방전을 하고, 병렬연결의 80[AH]는 8[A]로 방전을 한 결과이다. 듀얼모드 방식의 배터리가 저전압차단 전압(11.9[V] 설정)까지 점등 전류가 약간 연장됨을 알 수 있다.

그림 9는 모든 배터리를 만충전 후 병렬연결 방식과 듀얼모드 방식의 배터리를 비교 실험한 그래프이다. 방전은 제어기를 통하여 병렬연결은 80[AH]/0.1 CA, 듀얼모드는 40[AH]x2/0.2[CA] 즉 병렬연결 방식은 80[AH]를 8[A]로 시간에 따라 방전을 하고, 듀얼연결 방식은 40[AH]를 8[A]로 교대 방전을 시행한 결과이다. 방전 중지는 배터리 단자 전압이 저전압 차단으로 하강하는 시간에 중지하였으며, 병렬연결 방식이 약간 연장됨을 알 수 있다.

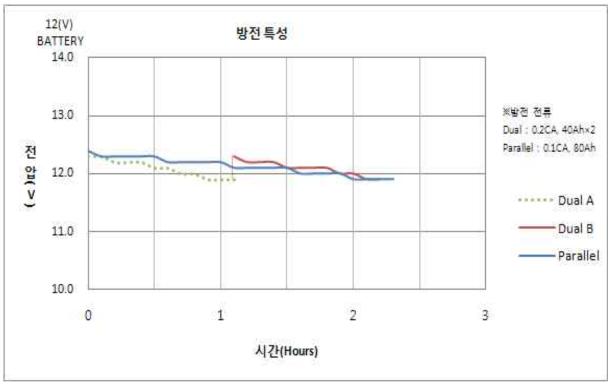

그림 9. 방전특성 B

Fig. 9. The characteristic of discharge B

그림 10은 실제 상황에서 배터리와 솔라셀 용량을 고려하여 15[V]/5[A]로 3시간 충전 후 방전실험을 시행한 결과를 분석한 그래프이다. 듀얼모드 방식은 1.5시간 충전 후 교대로 충전을 시행하고 병렬연결 방식은 배터리를 병렬로 연결하여 3시간 충전 후 방전을 실시한다. 방전 조건은 듀얼모드 방식은 12[V]/0.2[CA], 병렬연결 방식은 12[V]/0.1[CA] 즉, 두 방식 모두 12[V]/8[A] 방전을 실시한다. 그 결과 듀얼모드 방식이 점등시간이 연장됨을 알 수 있다.

실험 결과를 분석해 보면, 모든 방식에서 충분한 조건으로 만충전을 한다고 가정하면, 두 방식에 큰 차이는 없지만, 한정된 시간과 광량을 고려하면 듀얼모드 방식이 장점이 있음을 알 수 있다. 우리나라 일기 조건으로 일조 시간과 만충전 시간을 고려할 때, 여름철을 제외하고는 기대하기 어렵기 때문에 이를 설계에 반영하여야 하며, 배터리 수명은 방전심도와 충・방전 횟수(Cycle)에 관련되기 때문에 듀얼모드 방식은 규정한 방전 종지전압 내에서 방전을 중지한다면 병렬연결 방식 보다 연장됨을 예측할 수 있다. 또한 그림 8과 그림 9의 만충전 후 방전 시간을 보면, 서로 차이가 있는데 이는, 배터리의 노후화와 각 배터리의 용량별 적정 방전 전류가 존재하는 것으로 예측된다.

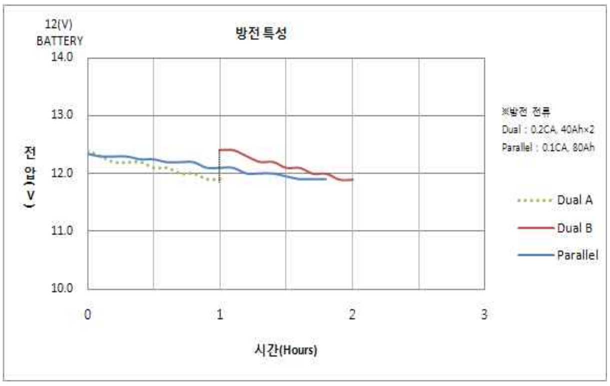

그림 10. 방전 특성 C

Fig. 10. The characteristic of discharge C

3.2.2 혹한기 충전 개선

외부 온도에 따른 배터리의 충・방전 효율을 측정하기 위하여 항온항습기를 이용하여 다음과 같은 실험을 하였다. ① 항온항습기의 온도를 4[℃]로 설정한 후, 1시간동안 유지한다. ② 전원공급기를 이용하여 10[A]로 5시간 충전한 뒤, 2시간 후 배터리 개방 전압을 측정하여 식 (5)와 같이 SoC_{charge}를 계산한다. ③ 전자부하를 이용하여 10[A]로 5시간 방전한 뒤, 30분 후 배터리 개방 전압을 측정하여 $SoC_{discharge}$를 계산한다. ④ 외부 온도에 따라 위 실험을 반복한다.

$$SoC_v = 1 - (V_{max} - v) / (V_{max} - V_{min}) \qquad (5)$$

식 (5)에서 V_{max}는 충전기로 만충하고, 2시간 후의 단자 개방 전압이고, V_{min}은 방전 종지전압(11.7[V])까지 방전하고, 30분 후의 단자 개방전압이다. v는 배터리의 단자 개방전압이며, 충전 시에는 충전 후 2시간 후, 방전 시에는 방전 후 30분 이상이 경과한 후에 측정한 전압이다.

그림 11은 200[AH] 배터리를 0.05[CA] 즉, 10[A]로 5시간 충·방전을 반복 시행한 후 배터리 잔존용량을 계산한 그래프이다. 외기 온도에 따른 충전효율 결과를 분석해 보면 4[℃]→ 0[℃]에서 1.46[%], 4[℃]→ -4[℃]는 1.97[%]로, 4[℃]→ -10[℃]는 2.7[%] 로 감소됨을 알 수 있다. 이는 대기온도 4[℃]를 기점으로 0[℃]로 변화할 때 효율이 가장 많이 하락하고, 0[℃]이하에서는 하락률이 감소되어 히팅은 대기온도 4[℃]를 기준조건으로 생각함이 타당할 것으로 보인다. 방전의 잔존용량은 태양광 발전 전력을 사용할 수 없는 경우이므로 고려하지 않는다.

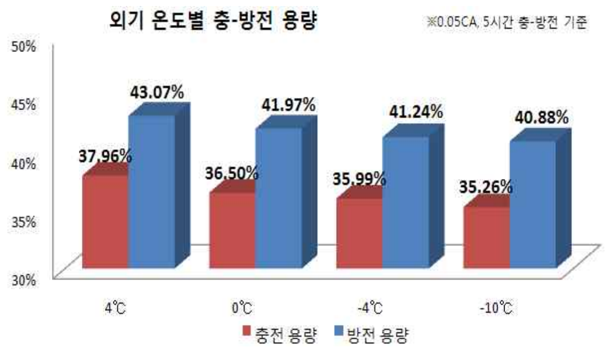

그림 11. 외기 온도별 충·방전
Fig. 11. Charge-discharge according to temperature

그림 12는 외기 온도별 Heating에 의한 배터리의 충·방전 실험후 잔존용량 효율을 표현한 그래프이다. 실험 조건은 배터리 200[AH]를 0.1C[A] 즉, 20[A]로 5시간 동안 충·방전을 시행한 결과이다. 이는 LED 램프 70[W](배터리 200[AH]x2, 부조일 5일, 솔라셀 300[W])로 점등할 경우를 예상한 값이며, Heating 전력은 12[V]/4[A]로 1.5시간 인가하고, 단열재로 보완을 하였다. Heating 전력은 일출 후 3시간 동안 솔라셀 평균 발전 전력이 17[V] 이상/4[A](정상적인 발전은 일출 후 3시간 이후부터임)를 고려한 것이다. 그림 12에서 Heating을 시행할 경우 0[℃]에서는 1.81[%], -4[℃]에서는 1.77[%], -10[℃]에서는 2.19[%] 향상됨을 알 수 있다. 실험 결과, BMS에서 배터리의 잔량, 온도, Heating 전력 배분, Heating 시간을 적절하게 제어할 수 있는 최적점을 추적한다면, 실제 설치 환경에서 겨울철 충전효율은 더욱더 향상될 것으로 생각된다.

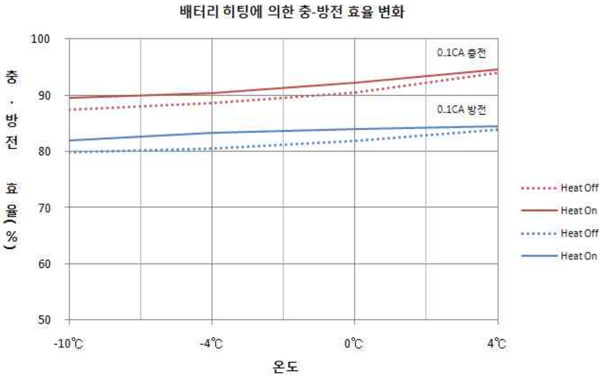

그림 12. 히팅에 의한 충·방전 효율
Fig. 12. Efficiency of charge-discharge according to heating

3.2.3 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 태양광용 LED 조명 시스템을 실시간으로 충전 및 방전 관련사항, 낮과 밤의 인식시간, 배터리 Heating 조건, 보조 LED 제어와 모든 정보의 로딩이 가능한 장치이다. 사용 방법은 제어장치의 RJ-45 코드와 PC의 통신포트 혹은 USB 포트에 연결하여 사용한다. 모니터링의 전체적인 화면을 그림 13에서 보여주고 있다.

그림 13에서 ①은 메뉴바로서 파일, 설정, 도움말로 구성되고, ②는 충·방전 표시창으로서 실시간으로 충·방전 현황을 그래프로 표현하며, ③은 메뉴표시창으로서 이벤트, 제어설정, 원격제어, 통신설정으로 구성된다. 또한 ④는 로그 및 데이터 표시창이며, ⑤는 상태표시줄을 표현한다. 그림 14에서 1일간 충·방전

전류 모니터링을, 그림 15에서 1일간 충·방전 전압 모니터링을 보여주고 있다.

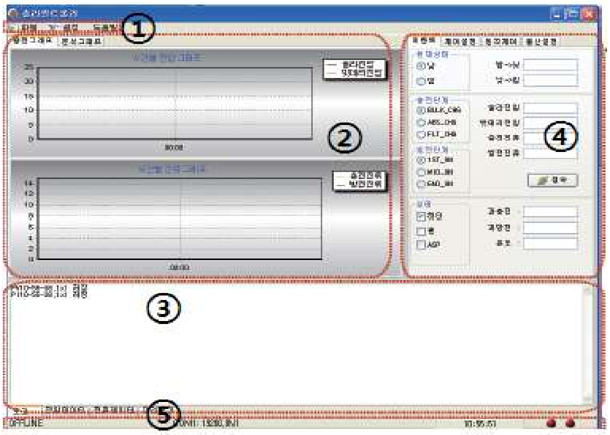

그림 13. 모니터링 화면
Fig. 13. The display of monitoring

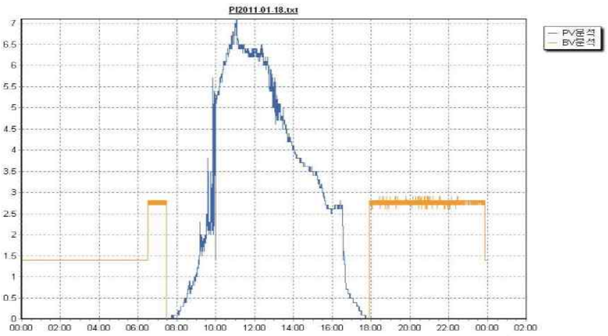

그림 14. 1일간 충방전 전류 모니터링
Fig. 14. The monitoring of charge-discharge current per day

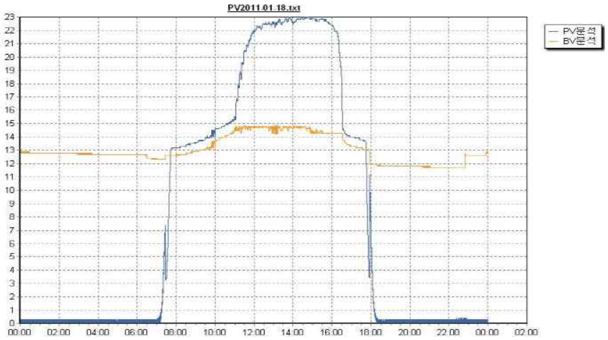

그림 15. 1일간 충방전 전압 모니터링
Fig. 15. The monitoring of charge-discharge voltage per day

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 이용을 위한 독립형 LED 가로등 시스템을 설계하였다. 솔라셀을 이용한 독립형 시스템은 겨울철에 부족한 일조량, 추운 날씨, 눈 등의 영향으로 가장 취약하다. 불규칙적인 일기 조건을 고려하여 효율적으로 충전효율을 높이기 위하여 듀얼모드 방식의 BMS를 구현하여 이를 개선하여 배터리 수명을 연장하였고, 겨울철 열악한 환경을 극복하기 위하여, 배터리 Heating, 배터리의 SoC 따라 방전 전류 제어를 제어하였다. 실제 환경에서는 개선율이 주위 환경에 따라 차이가 다소 있겠지만, 소규모 실험결과 본문에서 제시한대로 확연한 장점을 많이 가지고 있으며, 실제 환경에서는 개선율이 더 증가할 것으로 예측된다. 또한 가로등의 효율적인 이용을 고려하여 구간 별로 방전 전류를 제어하였으며, Sub LED 조명을 이용하여 감성 조명을 구현하였다.

추후 연구 과제는 무선 센서 네트워크를 구축하여 독립형 태양광 발전 시스템의 상태를 통합 관리할 수 있도록 구성하고, TCP/IP 네트워크를 이용하여 솔라 모듈의 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.

감사의 글

"이 논문은 2010년도 원광보건대학 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음"

References

〔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 VEHICLE", MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, Portland state university, 1999.
〔4〕 Jun Youn Ahn, Jong Hoo Park, B.H.Cho, K.J.Yoo, "Analog MPPT for connected single-phase system", KIPE conference, pp. 785-788, 2003.
〔5〕 Henry Shu-Hung Chung, K. K. Tse, S. Y. Ron Hui, C. M. Mok and M. T. Ho, "A Novel Maximum Power Point Tracking Technique for Solar Panels Using a SEPIC or Cuk Converter", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 18, No. 3, 2003.
〔6〕 서철식 외 4인, "배터리관리시스템(BMS)을 이용한 배터리 잔존수명(SOH) 추정 알고리즘에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 2008춘계학술대회 논문집, 2008년 5월.
〔7〕 송정용 외 5인, "Battery SOC(State of Charge)측정을 통한 태양광발전 시스템 개선 방안 연구", 한국태양에너지학회 추계학술발표대회논문지, 2005년.
〔8〕 Shinya Sato, Atsuo Kawamura, "A new Estimation Method of State of Charge using Terminal Voltage and Internal Resistance for Lead-Acid Battery", PCC-Osaka 2002, IEEE 2002, pp565-570.

◇ 저자소개 ◇

김변곤(金辯坤)
1968년 9월 27일생. 1990년 2월 한국항공대학 항공전자공학과 졸업. 1997년 2월 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 군산대학교 전자공학과 부교수.

이옥재(李沃宰)
1961년 2월 20일생. 1986년 2월 전북대학교 전자공학과 졸업. 1994년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 원광보건대학 영상컨텐츠과 교수.