

최대전력추종 태양광 충전법을 적용한 LED 동기점멸등 제어시스템 설계

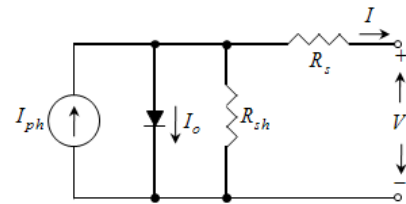
손영대*, 허성민*, 김철진**
 동서대학교*, 한라대학교**

Control System Design of the LED Synchronous Lights with Solar Charging Method by Maximum Power Point Tracking

Young-Dae Son*, Seong-Min Huh*, Cheri-Jin Kim**
 Dongseo University*, Halla University**

Abstract - 본 논문은 최대전력추종 태양광 충전법을 적용한 LED 동기점멸등 제어시스템 설계 및 구현을 목표로 한다. 즉, 선박의 야간 안전항해를 돕기 위한 항로표지인 등부표에 장착되는 LED 동기점멸등의 구동제어 시스템, 최대전력추종 방식의 전류제어 벡 컨버터를 적용한 배터리 충전시스템의 설계 및 구현, 그리고 그 특성파악에 대해 중점적으로 다룬다. 시스템에 적용한 태양광 모듈의 모델링 및 MATLAB 시뮬레이션을 통해 추출한 태양전지 파라미터를 충전회로 시스템에 적용하여 최대전력추종 태양광 충전시스템을 설계하였다. 따라서, 본 논문에서는 원칩 마이크로컨트롤러를 사용하여 최대전력추종(MPPT) 태양광 충전제어시스템과 GPS활용 LED 동기점멸등 구동제어시스템을 구현하여, 그 특성파악을 통한 실시시스템 적용가능성을 확인하였다.

효과적이고 쉽게 설명할 수 있다[4].



<그림 1> 태양전지 등가회로

1. 서 론

최근, 우리나라의 해상교통량 증가와 연안어업의 발달, 그리고 해양레포츠의 대중화에 따라 해상 교통밀도가 급속하게 증가하면서 해난사고 또한 증가하게 되었다. 특히, 해상교통에서 야간항로표지의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 선박이 안전한 항해를 하기 위해서는 수시로 자신의 선위를 확인할 필요가 있으며, 주간에는 육안으로 식별이 가능하나 야간에는 육안식별이 어려워 여러 가지 수단에 의해 선박의 항행을 돕기 위한 인공적인 항로표지 시설을 설치하여 각 지방해양수산청에서 관리하고 있다. 그 중 광파표지의 하나인 등부표는 항해하는 선박에게 암초나 수심이 얕은 곳의 소재를 알리거나 항로의 경계를 알리기 위해 해상의 고위위치에 띄워 놓은 등화가 설치된 구조물을 말하며 동기점멸 방식으로 점광된다. 동기점멸은 항만도시 배후광 영향으로 인해 항만표지의 식별이 곤란하고 특히 파도가 심한 경우 소형선의 등화가 등부표의 등화로 오인될 소지가 있어 항만의 모든 항로표지를 동시에 점광시켜 항로표지의 식별이 쉽도록 운영되며, 항로표지의 기능을 집약화 함으로써 점 단위에서 선 단위로 표시되어 공황 활주와 같이 동기화 시키는 운영방법[5]이며, 정확한 시각에 의한 동기점멸을 구현하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 동기점멸등의 시각원으로서, 고정밀 협정 세계시(UTC)를 제공하는 GPS의 NMEA(National Marine Electronics Association) 데이터를 활용하였다. 현재, 전 세계적으로 쓰이는 에너지의 40%가 전기에너지이며 20년 후인 2030년 경에는 전기에너지의 사용량이 약 60%가 될 것이며, 이 때 전체 전기에너지 사용량 중 재생에너지가 차지하는 비중은 4분의 1 이상, 2050년 경에는 50%까지 증가할 것으로 IEA(International Energy Association)는 전망하고 있다. 이와 같이 재생에너지에 대한 관심이 쏠리고 있는 가운데 다른 재생에너지에 비해 친환경적이고 그 에너지 양이 막대한 태양광 발전에 대한 주목이 더욱 높아지고 있다. 본 논문에서는 동기점멸등 시스템의 주전원인 축전지의 충전을 위해 MPPT로 동작하는 전류제어 벡 컨버터를 설계하여 그 특성을 확인하였으며, 태양광 모듈의 모델링 및 MATLAB 시뮬레이션을 통해 구한 태양전지 파라미터를 충전회로 시스템에 적용하여 최적의 동기점멸등용 태양광 충전시스템을 설계하였다. 따라서, 본 논문에서는 ATmega128 원칩 마이크로컨트롤러와 GPS를 이용하여 해당 계절의 일몰시간에 맞춰서 등부표의 특정 등질을 지속적으로 발생시키는 LED 동기점멸등 구동제어 시스템과, 제어기 구성이 간단하고 소규모 시스템에 적합한 일정전압제어 MPPT 알고리즘을 적용한 충전제어 시스템을 설계하여 그 특성을 확인하였으며, 실제 시스템으로의 적용가능성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 태양전지 등가회로 및 모델링

태양전지의 특성을 이해하고 해석하기 위해 일반적으로 그림 1과 같은 싱글 다이오드 모델의 등가회로가 많이 이용되고 있다. 싱글 다이오드 등가 회로를 이용함으로써 모델의 해석이 용이하고, 표준화된 방식으로 소자의 특성을 묘사할 수 있기 때문에 전지의 복잡한 물리적 과정을

실제적인 태양광 모듈은 식 (1)의 방정식에 따라 그 I-V특성이 표현된다.

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{V_{th} a} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

여기서, I_{ph} 와 I_o 는 광전류와 다이오드 포화전류이며, $V_{th} = N_s k T / q$ 는 N_s 개의 직렬연결 셀로 이루어진 태양광 모듈의 열전압, q 는 전하량 ($1.602 \times 10^{-19} [C]$), k 는 볼츠만 상수 ($1.38 \times 10^{-23} [J/K]$), T 는 절대온도, a 는 다이오드 이상계수, R_s 는 직렬저항, R_{sh} 는 병렬저항을 나타낸다[3]. 또한, 일사량과 온도에 따른 태양전지의 광전류 I_{ph} 는 식 (2)와 같다.

$$I_{ph} = (I_{ph,n} + K_f \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (2)$$

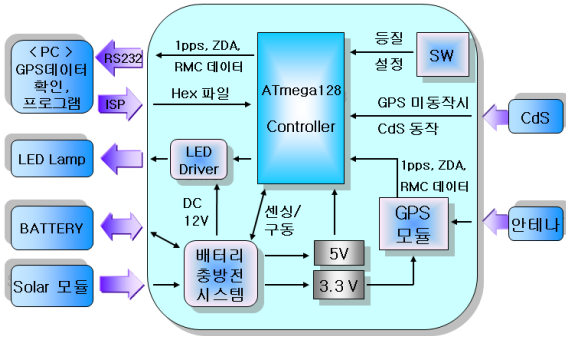
여기서, $I_{ph,n}$ 는 기준조건(25[°C], 1000[W/m^2])시의 광전류, $\Delta T = T - T_n$ (T : 실제온도, T_n : 기준온도[°C]), G 는 일사량[W/m^2], G_n 은 기준 일사량(1000[W/m^2])을 나타내며, 다이오드 포화전류 I_o 는 식 (3)과 같다.

$$I_o = I_{o,n} \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

여기서, E_g 는 반도체의 밴드갭 에너지(1.12[eV])이다.

2.2 동기점멸등 구동제어 시스템

항로표지에 고정밀의 비싼 시각제공 장치를 설치하기 힘들며, 고정밀의 시각을 이용하기 위해서는 시각원을 탑재한 서버를 이용해서 서비스를 받으면 된다. 또한, 시각원은 시간경과에 따른 오차를 조정하기 위해 필요하며 외부로부터 그 데이터를 받아서 사용하는 것이 일반적이므로 본 논문의 시각원으로서 GPS 모듈을 활용한다. 항로표지의 동기점멸 시각원은 크게 무선통신방식과 시보방식으로 나누어지며, 무선통신방식은 쌍방향 무선 데이터 통신방식과 단방향 통신방식이 있고, 시보방식은 상업방송국(FM) 시보방식과 GPS 시보방식으로 분류된다. 본 논문에서는 GPS 전파의 시보를 수신하여 동기를 유지하고 타 방식에 비해 시각보정과 간편성 측면에서 상대적으로 유리한 GPS 시보방식을 채택하여 시스템을 구성하였으며 그림 2에 그 구성도를 나타내었다. 그림 2에서 알 수 있듯이, 주 제어기인 ATmega128 원칩 마이크로컨트롤러는 GPS 모듈에서 NMEA 데이터를 수신하여 그 중 1pps와 시간 데이터를 이용하여 지정된 시간(부산지역 년 평균 일출/일몰 시간 기준)에 항로표지 등화의 등질기준에 맞춰서 파워 LED 동기점멸등 구동회로(DC-DC 컨버터)에 온/오프 신호를 보내며, 기상사정 등의 이유로 GPS의 모듈 동작이 불가능할 때에는 광센서(CdS)를 이용하여 등질기준에 맞게 점멸등을 구동한다.



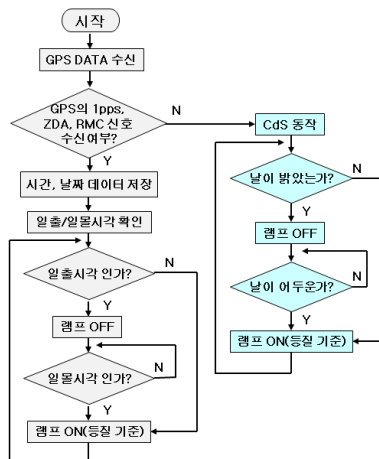
〈그림 2〉 동기점멸등 구동제어 시스템 구성도

표 1은 등화용도에 맞는 점광을 나타내며, 선박은 이 점광을 확인하여 현재 항로의 상황을 알 수 있다. 등질 설정은 덤스위치의 코드를 표 1과 같이 설정하여 마이크로컨트롤러에 입력하면 원하는 점광을 발생시킬 수 있다. 여기서, F1 4s의 점광부호는 4초 주기의 첫 1초간 점등됨을 나타내며, '0'은 스위치 온의 위치를, '-'은 스위치 오프 위치를 의미한다.

〈표 1〉 등화 등질과 스위치 선택 코드

구분	설광부호	등질 (설광시간 및 주기, 1칸 0.5초)	스위치 선택코드				
			S1	S2	S3	S4	S5
단안점광	F1 4s	[Pattern]	-	-	-	-	-
	F1 5s	[Pattern]	0	-	-	-	-
	F1 6s	[Pattern]	-	0	-	-	-
중안점광	F1(2) 6s	[Pattern]	0	0	-	-	-
	F1(3) 7s	[Pattern]	-	-	0	-	-
	F1(4) 8s	[Pattern]	0	-	0	-	-
	F1(5) 20s	[Pattern]	-	0	0	-	-
	F1(2) 1s	[Pattern]	0	0	0	-	-
삼안점광	Q	[Pattern]	0	-	-	0	-
	Q(3) 1G	[Pattern]	-	0	-	-	0
	Q(6)+F1 1Gs	[Pattern]	0	0	-	-	0
부동점광	Q(9) 1Gs	[Pattern]	-	-	0	-	0
	Mc(a) 8s	[Pattern]	0	-	0	0	-
	LF1 1Gs	[Pattern]	-	0	0	0	-
등명암점광	F	[Pattern]	0	0	0	0	-
	Is0 2s	[Pattern]	0	-	-	-	0
	Is0 4s	[Pattern]	-	0	-	-	0
	Is0 6s	[Pattern]	-	-	0	-	0
Is0 8s	[Pattern]	-	-	-	0	0	

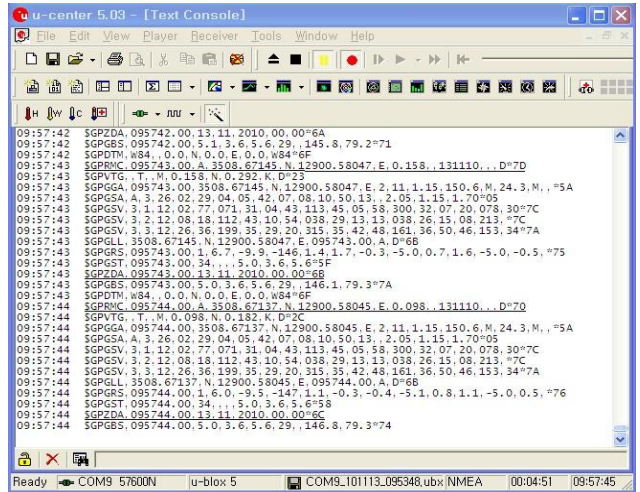
그림 3은 동기점멸등 제어 프로그램의 순서도를 나타낸다.



〈그림 3〉 동기점멸등 제어프로그램 순서도

2.3 GPS 데이터 수신

본 논문에서 사용한 GPS 수신기 모듈은 u-blox사의 LEA-5T[6]이며, USB 시리얼 통신을 이용하여 PC에서 데이터를 확인할 수 있다. 또한, 30초 이내의 빠른 속도로 GPS 접속이 가능한 고성능 모듈이므로 신속한 데이터 수신이 가능하다. 3.3V 전원으로 동작하며, 안테나에서 수신 받은 데이터를 GPS 모듈 내부에서 처리하여 동기점멸을 할 수 있도록 100ms 펄스폭의 1pps 신호를 출력하고 그림 4에 나타난 NMEA 데이터를 57,600 bps로 시리얼 출력한다. 출력되는 데이터들은 해양기자재간의 통신을 위한 전기적 인터페이스 및 데이터 프로토콜인 NMEA-0183 기준을 따른다. NMEA는 GPS 수신기가 데이터를 전송할 때 사용하는 프로토콜로서 NMEA 출력은 EIA-422A이지만 대부분 RS-232와 호환된다. 그 특징은, 모두 ASCII 코드로 구성되어 있고 각 문장은 '\$' 표시로 시작해서 캐리지 리턴(<CR>), 라인피드(<LF>)로 끝난다. 각 데이터들은 콤마로 구분되고 체크섬을 포함하며, 특정 필드(데이터)를 보내지 않는 GPS도 있다. 출력 데이터 중에서 본 논문의 동기점멸을 위해 필요한 데이터는 그림 4의 실선으로 표시된 ZDA와 RMC이다. 마지막 ZDA 데이터는 UTC 시간과 날짜를 표시하며 2010년 11월 13일 09시 57분 44초를 나타낸다. 마지막 RMC 데이터는 시간 및 내비게이션의 정보가 포함되어 있는데, 시간, 상태는 정상(A), 위도는 북위 35도 8분, 경도는 동경 129도 0분, 속도 등을 나타낸다. 따라서, 이러한 실시간 데이터들에 기초한 현재시간과 날짜를 부산 지역의 일차별 일출 및 일몰시간과의 비교를 통해 표 1의 정확한 등질에 맞춰 동기점멸을 실행한다.

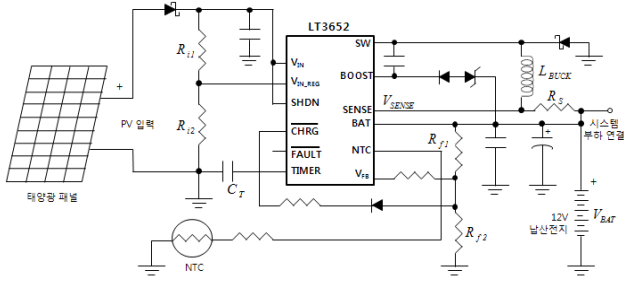


〈그림 4〉 GPS 출력 데이터

2.4 최대전력추종 태양광 충전 시스템

최근 주목받고 있는 환경발전 시스템은 자연 환경에서 손쉽게 얻을 수 있는 진동, 압력, 빛, 열, 전자파 등으로부터 에너지를 효과적으로 수확하여 현실화 가능한 에너지원으로 활용하는 개념이며, 그 중 가장 잠재성이 높은 태양광발전 시스템은 비상용 도로전차, 야간 항로표지, 낙도지역의 조명, 아웃도어 장비, 휴대용 태양광충전 전자기기, 원격 기상 관측 시스템 등 상용전원이 공급되기 어려운 분야에 다양하게 적용되고 있다. 그러나, 태양광 전력은 기상조건에 따라 가변적이고 신뢰성이 없으므로 수확된 전력을 저장하고 운영조건시 전력을 공급하는 축전지를 필요로 한다. 즉, 본 논문의 동기점멸등은 중간에 에너지를 축전지에 충전하여 야간에 사용하는 시스템이므로 여러 가지 일사조건에 대한 태양광 모듈 출력전력을 효과적으로 최적화하여 한정된 태양광 모듈 사이즈에서 가능한 많은 태양광 전력을 추출하는 것이 중요하다. 따라서, 최대 전력을 발생하는 특정 동작점을 갖는 태양광 모듈의 특성상 일사조건 변동시 항상 최대 전력점에서 동작하도록 출력전압을 추종시켜야 한다. 이 기능을 수행하기 위해 여러 가지 복잡한 알고리즘이 사용되었으나, 대부분 태양광 모듈의 출력전압과 출력전류를 직접 측정하여 출력전력을 계산하는 한편 일사강도 및 온도조건이 변화함에 따라 최대 출력전력을 공급하도록 패널의 부하를 주기적으로 변화시키는 방법이다. 이러한 형태의 알고리즘은 일반적으로 복잡한 검출회로와 연산을 위한 마이크로컨트롤러가 필요하며 회로 자체의 전력부담이 커지게 되므로 독립형으로 운전되는 본 시스템에서는 적합하지 않다. 즉, 본 논문의 등질 및 GPS회로 구현 외에 추가적인 검출회로 및 복잡한 연산부를 제거하여 전력손실을 줄이는 것이 바람직하다. 한편, 태양광 모듈의 최대전력 출력전압은 일사강도와 태양전지 표면온도에 크게 영향을 받지 않고 비교적 일정한 값을 가지므로 모듈의 출력전압을 이 값에 유지시키면 최대 출력전력을 모듈에서 얻을 수 있다. 그러므로, 최대전력 추종을 위한 복잡한 검출회로 및 알고리즘을 구현하는 대신에 이러한 최대전력 출력

전압 특성을 이용하여, 일사강도가 충전회로의 전체 전력요구를 지원할 수 없는 조건에서 모듈 출력전압을 최대전력점으로 구동할 수 있는 충전회로를 설계하여 본 시스템에 적용한다면 최대전력 전달이 가능한 효율적인 태양광 충전이 가능할 것이다. 이를 전제로, 본 논문에서는 태양광 모듈의 모델링 및 MATLAB 시뮬레이션을 통해 구한 태양전지 파라미터를 충전회로 시스템에 적용하여 최적의 동기점별등용 태양광 충전 시스템을 설계하였다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 정전압제어 기반의 신뢰성 있는 축전지 충전을 위해 리니어 테크놀러지사의 LT3652를 사용하였으며, 그림 5에 그 회로를 나타내었다. 이 태양광 충전 IC는 1MHz의 스위칭 주파수를 갖는 전류제어 벡컨버터 구조를 가지며, 충전 기간 동안 효율을 높이기 위해 부트스트랩 전원으로 구동되는 2A 스위치로 구성되어 있다[7],[8].



〈그림 5〉 축전지의 태양광 충전회로

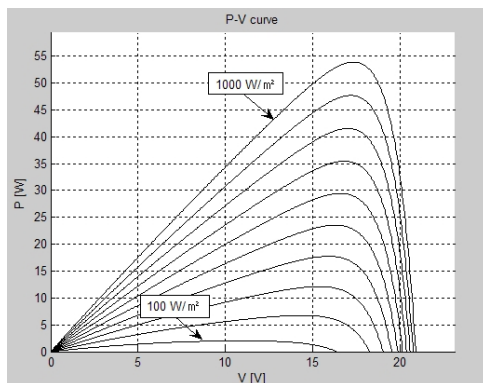
3. 결론

3.1 시뮬레이션 및 결과

표 2는 본 시스템에 적용한 태양광 모듈의 규격과 MATLAB 시뮬레이션으로 추출한 EP55W 태양전지 모듈의 파라미터를, 그림 6은 일사강도 변화에 따른 태양광 모듈의 P-V 특성 곡선을 나타낸다. 또한, 표 3은 일사강도 변화에 따른 태양전지의 전압 및 전력 값의 변화를 나타낸다. 일사강도 변화에 따른 최대전력점 전압값은 미소한 변화를 보이며, 이 변동값 범위에 기초하여 그림 5에 제시한 최대전력 태양광 충전을 위해 전류제어 벡컨버터를 통한 정전압제어를 수행하였다.

〈표 2〉 태양전지모듈 규격 및 파라미터

태양전지 모듈	규격
최대 전력 (W_p)	55[W]
V_{oc}	21[V]
I_{sc}	3.6[A]
최적동작전압 (V_{mp})	17.5[V]
최적동작전류 (I_{mp})	3.1[A]
R_{sh}	62.83 [Ω]
R_s	0.00500 [Ω]
K_T	$3.18e-3$ [A/K]
N_s	36
a	1.4



〈그림 6〉 일사강도 변화에 따른 태양전지의 P-V 특성 곡선(@25[°C])

〈표 3〉 일사강도 변화에 따른 태양전지의 전압 및 전력

일사강도 [W/m^2]	전압 [V]	전력 [W]
100	10.92	2.02
200	14.36	6.75
300	15.40	12.12
400	15.92	17.75
500	16.30	23.55
600	16.60	29.46
700	16.80	35.46
800	17.01	41.55
900	17.18	47.69
1000	17.30	53.90

또한, 그림 2에 나타난 동기점별등 구동제어 시스템의 동작을 살펴보면, 먼저, GPS Ipps 신호의 하강예지를 검출하여 외부 인터럽트가 발생하면 표 1에 제시한 등질설정 스위치의 입력상태를 체크하여 해당 등질을 확인하고, GPS의 ZDA 데이터로부터 현재의 월, 일, 시간 값을 가져와서 부산지역 일출 및 일몰시간과 비교하여 현재 시간이 주간인지 야간인지 그리고 일출시각인지 일몰시각 인지를 확인 후 해당 등질을 출력하게 된다. 따라서, 해당 등질은 LED 구동회로에 입력되어 LED 동기점별등을 점등 및 소등 시키게 된다. 특히, 기상상태 등의 원인으로 GPS 동작이 불가능해 지면 광센서의 입력 레벨을 감지하여 동기점별등의 구동이 불필요한 구간을 제외한 야간이 되면 자동적으로 등질에 맞춰 동기점별등을 구동하게 된다. 이 때의 시간기준은 ATmeg128 내부의 타이머에 동기되는데, 타이머의 비교매치 인터럽트 동작에 의해 1초마다 등질발생 동작을 반복하게 된다. 또한, 동작 중 GPS 신호가 복귀되면 자동적으로 타이머 동작이 멈추고 GPS의 Ipps 신호에 동기되어 시스템이 동작하게 된다. 본 논문에서는 ZDA 데이터의 월, 일, 시간 값을 이용하여 등질발생의 기초로 활용하였으며, RMC 데이터에서는 GPS 수신 데이터의 타당성 여부를 확인하도록 프로그래밍 하였다. 즉, RMC 데이터 중 'A' 코드로부터 데이터의 타당성 여부를 알 수 있으므로, 이를 이용하여 GPS의 수신여부와 광센서와 관련된 타이머 동작여부가 결정된다.

3.2 결과 검토

본 논문에서는 친환경적이고 무한한 태양광 에너지의 최적적으로 이용할 수 있는 최대전력추종 태양광 충전법을 적용한 등부표의 LED 동기점별등 제어시스템 설계 및 구현을 목표로 하였다. 이를 위해 MATLAB 시뮬레이션으로 추출한 태양광 모듈의 파라미터를 정전압 제어방식의 최대전력추종 태양광 충전회로에 적용하여 시스템의 단순성과 신뢰성을 추구하였다. 본 연구와 같이 배터리를 사용하는 소규모 독립형 태양광발전 시스템에서는 기존의 복잡한 알고리즘을 구현하기 보다는 정전압제어법을 적용한 최대전력추종 방식이 제어기 구성이 간단하고 소규모 시스템에 적합하며 또한 효과적일 것으로 판단된다. 결론적으로, 본 논문에서는 원칩 마이크로컨트롤러를 사용하여 최대전력추종 태양광 충전제어시스템과 GPS활용 LED 동기점별등 구동제어시스템을 구현하여, 그 특성파악을 통한 실시스템 적용가능성을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] 김태영, 이윤규, 안호균, 박승규, "태양전지 모듈의 파라미터 추정에 관한 연구," *전기학회 논문지*, Vol.51, No.2, pp.92-98, 2002.
- [2] 최규하, 정병환, 강병희, 이명연, "가상구현 태양전지 시스템을 위한 태양전지의 새로운 모델링," *전력전자학회 논문지*, Vol.11, No.1, Feb. 2006.
- [3] Dylan D.C. Lu, R.H.Chu, S.Sathiakumar, V.G.Agelidis, "A Buck Converter with Simple Maximum Power Point Tracking for Power Electronics Education on Solar Energy Systems," *AUPEC*, pp.1-5, 2007.
- [4] Marcelo Gradella Villalva et al, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.24, No.5, pp.1198-1208, May 2009.
- [5] 향로표지기술협회, www.kaan.or.kr.
- [6] LEA-5 u-blox 5 GPS Modules Data Sheet, www.u-blox.com.
- [7] Linear Technology Data Sheet LT3652, "Power Tracking 2A Battery Charger for Solar Power," www.linear.com.
- [8] Jay Celani, "Battery Charger's Unique Input Regulation Loop Simplifies Solar Panel Maximum Power Point Tracking," *LT Journal of Analog Innovation*, Jan., 2011.