한국산학기술학회논문지
Vol. 10, No. 8, pp. 1795-1801, 2009

태양전지를 이용한 자가발전 손전등 개발에 관한 연구

김홍일[1*]
[1]대진대학교 컴퓨터공학과

A development of an independent electric power generating portable flashlight by using solar battery

Hong-il Kim[1*]
[1]**Dept. of Computer engineering, Daejin University**

요 약 본 연구는 태양광과 자가발전을 이용한 휴대가능한 손전등 기술로서 전기를 사용할 수 없는 극한 상황에서 수동으로 자가발전을 할 수 있도록 구성하였다. 주간에는 태양전지를 이용하여 배터리를 충전시키고, 태양광을 이용할 수 없는 경우에는 손잡이를 회전하여 전기를 발전시켜 배터리를 충전하도록 구성하였다. 빛의 밝기를 개선하기 위해 광학 렌즈를 이용하여 빛을 집광시켜 빛의 밝기를 개선하며, 저소비전력 회로를 구성하여 램프 방전 시, 소비전력을 억제하여 장기간 사용이 가능하도록 하였다. 배터리 충전 및 외부 휴대용 기기를 충전하기 위한 안정적인 정전압/정전류 회로를 구성하여 안정적인 충전이 이루어지도록 하였다. 배터리 장기간 사용하지 않는 경우, 배터리의 과방전이 이루어 지지 않도록 과방전 회로를 구성하고, 과충전이 이루어지지 않도록 보호회로를 장착하였다. 또한 가정용 아답터를 이용하여 상시 충전이 가능하도록 하였다. 이와 같은 결과로 자가발전 손전등을 구현하였으며, 평상 시 주간에는 태양광으로 충전이 가능하며, 또한 가정용 사용전원으로 충전이 가능하도록 구현하였다. 그리고 광학 렌즈기술을 적용하여 빛의 밝기가 극대화 되어 원거리 조사기능이 가능하며, 야간에도 독서가 가능한 백색 자연광을 발산하도록 구현하였다.

Abstract In this study, a portable flashlight which can manually generate the electricity by using sunlight was developed so that it can be used in the extreme environmental condition such as no-electricity condition. Battery is charged by using solar battery during the day, but when sunlight is not avalible during the night or rainy day, a handle is rotated to generate the electricity in order to charge the battery manually. To improve the brightness of the light, light is concentrated by using the optical lens. Low electric consumption circuit is used for the longer operating time by suppress electrical consumption while lamp is discharged. A circuit is designed and used for steady electrical curris dand voltage to insure steady battery charging. Super-discharge circuit and protection circuit are used for the super discharge of battery when it is not used for a long time. Also the constant charge is possible by using houseware adapter.
As a result, a portable flashlight is designed to charge with sunlight during day, and with houseware adapter during night. A portable flashlight is also designed to irradiate longer distances by improvement of the brightness of the light using the optical lens. Thus, it forms white natural ray of light making possible for night reading.

Key Words : Portable flashlight, Sunlight, Solar battery, Optical lens, Low electric consumption circuit

1. 서론

그린에너지, 즉 신재생에너지란 태양에너지, 풍력, 연료전지, 바이오에너지 등 온실가스를 배출하지 않는 청정에너지원을 말한다[1]. 전체 에너지 중 신재생에너지 비중은 2004년 13% 수준에 불과하지만 환경위기에 대한 세계적인 공감대 형성과 교토의정서 등 국가 간 협약, 정부차원의 적극적 지원 등에 힘입어 신재생에너지는 꾸준

*교신저자 : 김홍일(hikim@daejin.ac.kr)
접수일 09년 05월 25일 수정일 (1차 09년 08월 07일, 2차 09년 08월 17일) 게재확정일 09년 08월 19일

히 성장하고 있다[2]. 유럽 신재생에너지협회의 전망에 따르면 2001년부터 2020년까지 전체 에너지 중 신재생에너지의 비중은 2001년 19% 수준에서 2020년 35% 수준까지 빠르게 증가할 것으로 전망되고 있다. 이 전망에 따르면 전체 재생에너지량은 2020년에는 2001년의 3배 수준에 이르러 같은 기간 약 1.7배 증가할 것으로 예상되는 전체 에너지 소비량 증가율을 크게 상회할 전망이다[3]. 정부는 제 2차 신재생 에너지 기본 계획을 제시하고 2012년까지 원자력 발전기 1기 규모의 발전량에 해당하는 1.3GW 전력을 태양광으로 발전한다는 계획을 가지고 태양전지 효율을 높이고 시스템 단가를 낮추는 등 구체적인 로드맵을 제시하고 있다[4]. 정부는 2012년까지 세계 태양전지 시장의 10%, 즉 시장규모 3조원의 태양광 시장을 형성하겠다는 목표이다. 그 중요성으로 보면 계속 사용해도 고갈되지 않는 무한정의 영구적인 에너지이다. 독일 기후변화 협의회에서 나온 조사치에 의하면 태양에너지 자원량은 현재 전 세계 에너지 소요량 대비 2,850배에 이르는 것으로 조사되고 있다. 풍력, 바이오매스 등은 각 200배, 20배 정도의 규모이다[5]. 그리고 환경오염이 없는 무공해 에너지이다. 태양에너지는 석탄화력발전 대비 약 240gcarbon/kWh이 절감 가능하다[6]. 또한 규모나 지역에 관계없이 설치할 수 있고 유지비용이 거의 들지 않는다. 태양열 발전의 경우 소규모 시스템에서는 경제성이 떨어지고, 풍력, 해수력 발전은 발전 단위는 크지만 지형환경에 따른 제약이 크다. 수소력은 폭발 위험 등이 존재해 확산이 쉽지 않은 상황이다[7]. 반면 태양광 시스템은 어느 지역에나 설치할 수 있고 규모에 따른 경제성 손실도 적으며 유지비용도 거의 들지 않는다. 태양광 에너지는 석유나 석탄 등의 에너지와는 달리 영구적인 사용이 가능한 에너지이다. 또한 소음이나 이산화탄소의 배출이 없고 25년의 수명을 보장하므로 반영구적 사용이 가능하다[8]. 그리고 대체 에너지로서 가장 각광 받고 있는 태양 에너지의 핵심이라 할 수 있는 고효율의 솔라 시스템의 용도는 전기를 사용하는 모든 곳에 사용되며 전기가 갈 수 없는 곳까지도 사용이 가능한 고부가 가치의 첨단 제품이다[9]. 그리고 국내외에서 태양전지를 이용한 자가발전 손전등 분야의 연구개발 동향은 빛의 밝기를 개선하기 위해 광학 렌즈를 이용하여 빛을 집광시켜 빛의 밝기를 개선하며, 저소비전력 회로를 구성하여 램프 방전 시, 소비전력을 억제하여 장기간 사용이 가능하도록 하며, 배터리 충전 및 외부 휴대용 기기를 충전하기 위한 안정적인 정전압/정전류 회로를 구성하는 분야에 연구개발이 많이 진행되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 태양광과 자가발전을 이용한 휴대가능한 손전등 기술로서, 친환경적이며 기존 손전등에서 사용하고 있는 클립톤 전구를 대신하여 고휘도 LED를 사용하고 이를 구동하는 저소비전력 소자를 이용하여 제품을 구현함으로 인해, 장기간 사용이 가능하며, 광학 렌즈 기술을 이용하여 빛의 발산 효율을 극대화 한 자가발전 손전등을 개발하고자 한다. 또한 전기를 사용할 수 없는 극한 상황에서 수동으로 자가발전을 한다든가, 주간에 태양열을 이용하여 충전하므로 인해 배터리의 교환이 불필요한 자가발전 시스템을 개발하고자 한다.

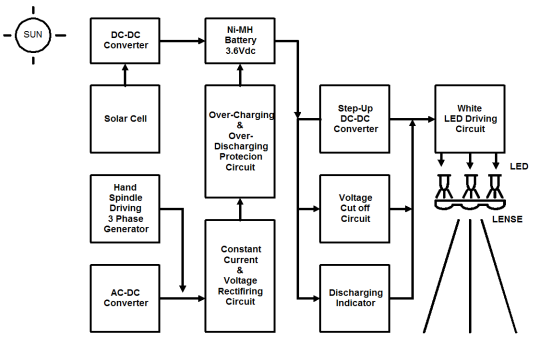
2. 시스템구성

2.1 자가발전 손전등 시스템

원 칩 마이컴 ATMEGA8L로서 PWM 변조를 행하여 DC-DC 컨버터를 구현하고, 태양전지의 전력을 최상으로 뽑아내도록 하였다. 실험실 내에서는 결과 값을 RS-232C를 통해 PC에서 모니터링 하도록 하였다. 태양전지 충전과는 별개로 자가발전 충전과 외부 아답터를 이용한 충전회로를 구현하고 배터리에 있어 최소의 방전을 행하도록 하여 고휘도 LED가 장기간 사용하도록 회로를 구현하였다. 그림1과 그림2는 자가발전 손전등의 시스템 구성도를 나타낸다. 하드웨어 시스템은 그림 1과 같이 태양광으로부터 전기를 발생하는 태양전지(Solar Cell), 솔라셀의 전류 및 전압을 상승 시키는 DC-DC 변환부, 배터리부, 수동회전을 통해 전기를 발생하는 발전부(Hand Spindle Driving 3 Phase Generator), 외부 상용전원을 수집하기위한 DC-DC 변환부, 정전류/정전류 정류회로(constant Current/Voltage Rectifire Circuit), 과충전,과방전,역전류 돌입방지회로(Over-Charging & Over-Discharging Protection Circuit),LED의 전류를 제한하는 Step Up DC-DC Converter, 방전표시 등 (Discharging Indicator)으로 구성하고 연구개발을 수행하였다.

[표 1] 자가발전 손전등 시스템 사양

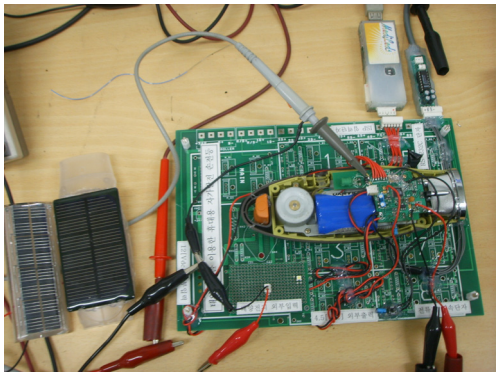
항목	사양
태양전지	약 700[mW], 개방전압을 4.5[Vdc], 단결정
태양전지 시스템의 효율	86[%]
스위칭 주파수	16[KHz]
배터리	니켈수소전지(650[mA], 3.6[Vdc]
동작모드	충전모드, 절전모드(자가발전모드)
충전방식	니켈 수소전지의 전지잔량을 체크하여 충전하며, 광량이 없으면 절전모드로 전환(자가발전 모드로 전환).
방전시 출력용량	DC3.6[Vdc], 650[mA]



[그림 1] 시스템 구성도

2.2 자가발전 충전시스템 설계

자가발전 손전등은 자가발전 용 회전 손잡이를 회전하여 3상 교류 발전기의 축을 약 4,000[rpm]의 속도로 회전하면 3상 교류가 발생한다. 이 때 발생되는 3상 교류를 정류기를 통해 정류하면 출력은 15[Vdc]/700[mA]으로 된다. 이 전류는 완충 장치를 통하고 니켈-수소 배터리 충전을 위한 정전압, 정전류 회로를 통과하여 4.8[Vdc] 니켈-수소 배터리로 공급된다. 회전 손잡이의 회전으로 인한 전류 발생이 없을 시 역전류가 흐르는 것을 막기 위해, 역전류 저지 회로를 부착하였고, 배터리 다음단의 고휘도 백색 LED를 온/오프 하기위해서 버튼 스위치를 부착하였다.

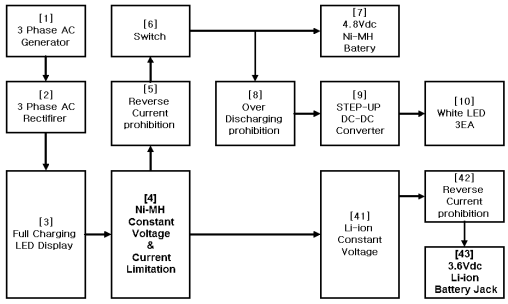


[그림 2] 자가발전 손전등 시스템

1분 회전하여 충전한 전력량으로 최소의 필요 방전을 행하기 위해서 4.8[Vdc]를 10.8[Vdc]로 승압하는 DC-DC 변환기를 사용하여 고휘도 백색 LED를 구동하며, 직렬 연결된 LED에 흐르는 전류는 15 ~ 20[mA]이다. DC-DC 변환기는 자체 ENABLE 및 DISABLE 기능을 가지는 소자로서 배터리의 전압이 4.0[Vdc]이하가 되면 DISABLE 하도록 과방전 회로를 부착하여 방전 종지전압이 되면 DC-DC 변환기 시스템이 OFF 되도록 하여 과방전의 염려가 없도록 설계하였다. 니켈-수소 배터리 충전을 위한 정전압, 정전류 회로를 통과 한 전압의 일부는 외부 리튬-이온 충전을 위한 4.2[Vdc] 회로와 공통 연결이 된다. 리튬-이온 회로는 충전 전압 4.2[Vdc]를 만들고 이 전압은 역전류 저지 회로를 통해 핸드폰 배터리를 충전하도록 설계되었다.

2.3 자가발전 충전기 하드웨어시스템 설계

자가발전 손전등의 전체 하드웨어 블록도는 그림 3과 같으며 3상 AC 발전기, 3상 AC/DC 변환 정류기, 완충장치, 4.8[Vdc] 니켈 수소 배터리 충전용 정전압, 정전류 회로 및 역전류 저지 회로, LED 온/오프 스위치, 4.8Vdc/350mA] 배터리, 과방전 금지 회로, 승압 변환기, 직렬로 연결된 백색 LED 3개, 리튬-이온 충전용 배터리 충전용 정전압 회로, 역전류 저지 회로, 3.6[Vdc]/700 핸드폰 충전 잭으로 구성하고 연구개발을 수행하였다.



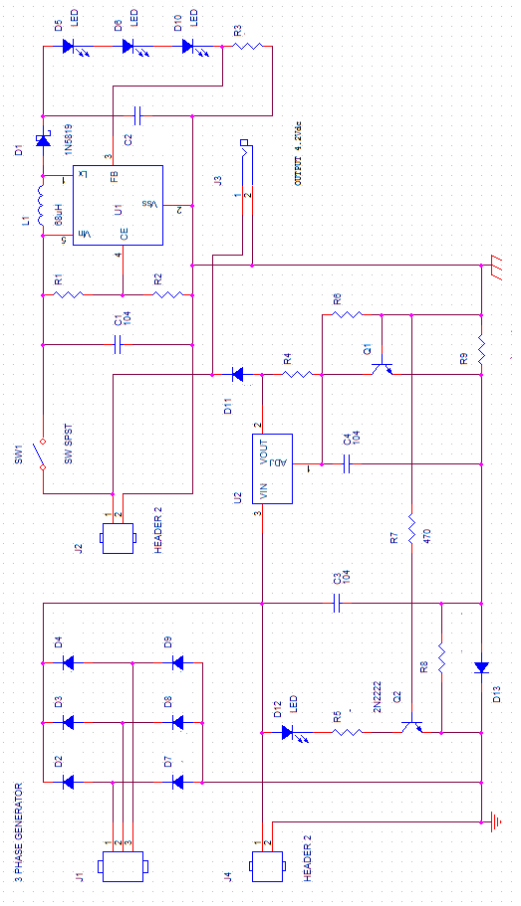
[그림 3] 자가발전 손전등 전체 블록도

3. 시스템개발 결과 및 고찰

3.1 자가발전 손전등 회로

그림4는 자가발전 손전등의 전체회로도를 나타낸다. 자가발전 손전등의 회로도는 정전압 정전류 회로, 충전회로, DC-DC 변환기회로, 역전전류방지회로, 광학을 적용한 빛의 집광, 태양전지 시스템과 상용 전원 충전 시스템, 방전금지회로로 구성하였다. 정전압 정전류 회로를 통하여 배터리를 충전하며, 또한, 외부에 휴대폰과 같은 기기를 연결하더라도 장애가 발생하지 않고 안정적으로 충전되도록 충전회로를 개발하였다. 그리고 단기간 충전으로 장기간 사용할 수 있도록 DC-DC 변환기 기술을 개발하여 최대의 조광효율을 갖고 장기간 배터리가 방전하도록 하여 LED의 점등시간을 지속시킬 수 있도록 하였다. 장기간 배터리를 미사용시에도 배터리가 자연방전 되는 것을 최대한 막는 회로

를 부가하여 비상시에 적절하게 운용 가능하도록 하였다.



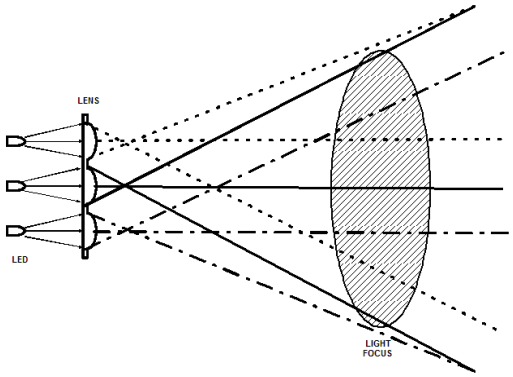
[그림 4] 자가발전 손전등의 전체 회로도

Step-Up DC-DC 변환기를 사용하여 1.5[Vdc]～4.2[Vdc]에 달하는 입력에 대해서도 12[Vdc]의 전압을 출력시키며 적은 전력으로서 LED를 구동하는 구조로 구성하였다. 저전력 방전기술을 도입하여 LED의 효율을 저하시키지 않으면서 LED를 구동하게 되어 단시간의 충전으로도 장시간 방전이 가능한 구조가 가능하였다. 그리고 정전압, 정전류 회로를 통해 배터리를 충전하며, 과방전이 되지 않는 회로를 부착하여 가장 적은 방전이 이루어지도록 회로를 구성하기 위해 역전전류 방지회로로 구성하고 저전력 소자로서 회로를 구성하여 장기간 방치하여도 배터리가 방전되지 않도록 구현하였다. 또한 반 평볼록 렌즈를 3개 사용하여 곡률반경에 따른 집광효율을 개선하기위한 실험 데이터를 작성하고 2[M]거리에서 30[LUX]이상의 효율을 발생하는 곡률반경 데이터를 생성하여 개발 제품에 적용할 수 있도록 개발하였다. 태양광을 이용하여 주간에는 상시 배터리에 충전이 가능하도록 구성하였다. 10[cm] × 5[cm] 크기의 출력 전압 3[Vdc], 전류 200[mA]이상의 태양전지판을 사용하여 이를 배터리 충전에 필요한 4.2[Vdc]로 변환하여 200[mA]이상으로 배터리를 상시 충전할 수 있도록 하였다. 사용 전원을 이용하여 아답터를 이용하여 배터리를 충전 가능하게 하였다. 내장된 정류 및 정전압 정전류 회로로 일반 가정용 AC-DC(9[Vdc]/200[mA]) 아답터를 통해 6시간 충전하도록 설계하여 필요시에 충전하여 쓰도록 하였다. 방전금지회로를 설계하고, 종전의 1분충전에 10분점등시간이 유지 않는 것을 토대로 배터리를 4.8[Vdc]/350[mA]로 변경 적용하고, 방전금지회로를 추가하고 또한 국내 핸드폰을 충전하기 위한 4.2[Vdc] 출력 단자를 제공하도록 회로를 구성하도록 개발하였다.

3.2 자가발전 손전등의 광학렌즈 개발

그림 5는 자가발전 충전기의 반 평볼록 렌즈의 상태도로서, 광원부는 3개의 LED 발광소자, 반사판 및 반 평볼록 렌즈로 이루어져 있어, LED 발광소자의 점등으로 조명 기능을 행한다.

고휘도 백색 LED 발광소자는 3개가 직렬 연결되고, 분산되는 빛을 앞으로 집광시키는 반사판이 LED 발광소자와 결합된다.



[그림 5] 자가발전 손전등의 광학 렌즈

그림 5에서 반 평볼록 렌즈는 임의의 곡률반경을 가지는 렌즈의 사이 간격을 1[mm] 전후, 직렬로 3개가 결합된 형태로 설치되어, 방사각도가 20[°]정도로 설정된 고휘도 백색 LED의 세 광원이 이 반 평볼록 렌즈를 거쳐 반사와 집광의 원리인 스넬의 법칙에 의해 외부로 2[M] 되는 지점에서 중첩되며 45[Lux]의 광원과 밝은 원형 촛점(지름 50[Cm] 이상)이 구현되었다.

3.3 크립톤 전구와 LED의 반경과 조도

손전등 전면에 부착되어 있는 3개의 고휘도 백색 LED의 밝기를 시험하기 위하여, "ㄱ"자형 군용 손전등과 제작한 손전등의 조도를 비교하였다.

군용 손전등의 경우, 전력소모가 많은 클립톤 전구를 사용하고 있다. 늦은 저녁 실험실의 전원을 끈 상태에서 1M, 2M, 3M 거리에서의 조도(LUX)와 원의 반경을 관측하였다.

실험결과 눈으로 느끼는 밝기(켈빈온도 측정법이라고 함)는 백색 LED가 밝았으며, 실절적인 조도는 켈빈온도가 떨어지는 군용 손전등이 높으 수치를 나타내었다.

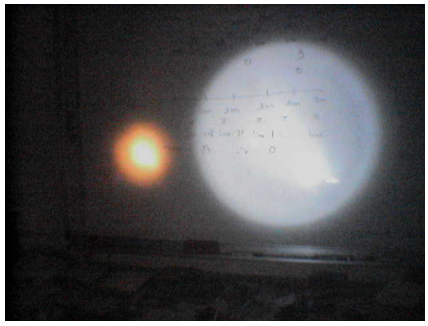
[표 2] 크립톤 전구의 조도

광원으로부터의 거리		1M	2M	3M
물체면의 원의크기(직경 mm)		10	20	30
초점의 LUX	Max	248	140	70
	Min	150	128	60
초점부터 20Cm 떨어진 곳의 LUX	Max	3	1	10
	Min	3	1	7

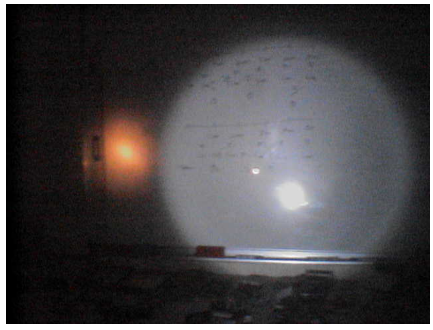
[표 3] 고휘도 백색 LED의 조도

광원으로부터의 거리		1M	2M	3M
물체면의 원의크기(직경 mm)		40	70	110
초점의 LUX	Max	155	44	20
	Min	125	38	16
초점부터 20Cm 떨어진 곳의 LUX	Max	90	32	14
	Min	85	27	12

[그림 6] 1M 거리에서의 조도 비교



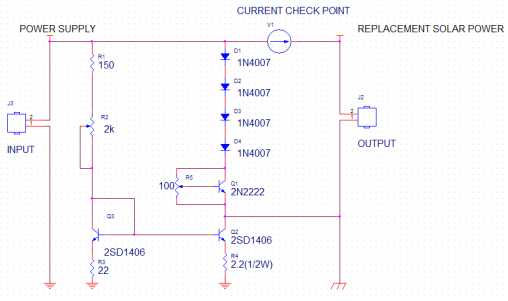
[그림 7] 2M 거리에서의 조도 비교



[그림 8] 3M 거리에서의 조도 비교

3.3 태양전지 충전전류

태양전지에 연결하여 동작실험을 하기 전에 의사 실험전원을 구성하여 동작을 시뮬레이션 하였다. 의사 전지 직류전원을 그림 9와 같이 구성하고 전압특성이 실물과 거의 같도록 조정하여 사용하였다.

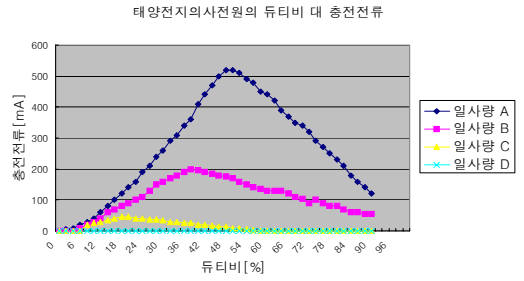


[그림 9] 태양전지 대용 의사 직류 전원

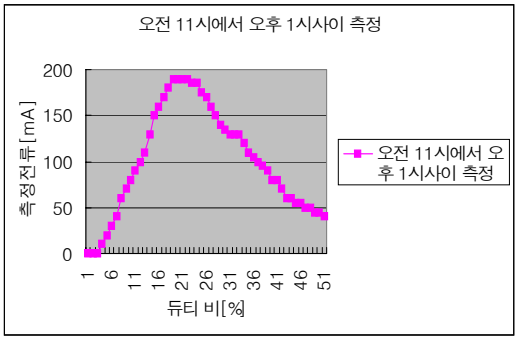
그림 10은 의사 전원을 통해 얻은 듀티 대 전류로서 40[%]전후에서 만족할 만한 출력을 얻을 수 있었다.

그림 11은 오전 11시에서 오후 1시에 걸쳐 태양전지로부터 발생되는 전력을 측정한 것으로 시뮬레이션 것과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 12는 태양전지로부

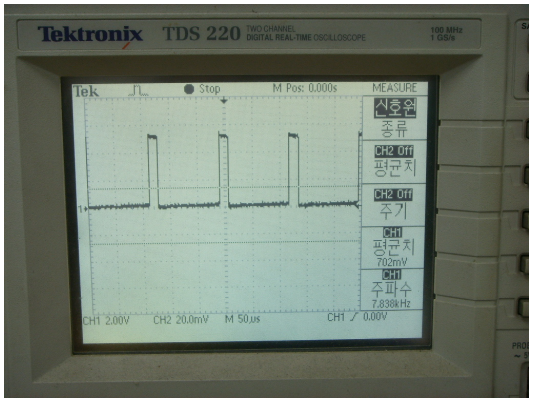
터 입력되는 전력을 최대화하는 DC-DC 컨버터의 PWM 신호이다. 실험 결과, 과방전 금지 및 저소비 전력 설계를 통해서 앞에서 서술한 것 처럼, 초기에 설정하였던 조건을 만족하면서, 마이컴의 소비전류는 1.27[mA], 출력전압:4.2Vdc,출력전류 200mA, 조도 45LUX(2M)로서 제작 초기에 설정하였던 값과 흡사하였다.



[그림 10] 태양전지 대용 의사 직류 전원 듀티비대 충전전류



[그림 11] 태양광량이 많을 때 측정한 태양전지의 듀티비대 충전전류



[그림 12] 태양전지 시스템의 구동 듀티신호

4. 결론

자가발전 손전등 시스템을 태양광으로부터 전기를 발생하는 태양전지, 솔라셀의 전류 및 전압을 상승 시키는 DC-DC 변환부, 배터리부, 수동 회전을 통해 전기를 발생하는 발전부, 외부 상용전원을 수집하기위한 DC-DC 변환부, 정전류/정전류 정류회로, 과충전,과방전,역전류 돌입방지 회로, LED의 전류를 제한하는 Step Up DC-DC Converter, 방전표시등으로 구성하고 개발하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 정전압 정전류 회로를 통하여 배터리를 충전하며, 또한, 국내외서 최초로 외부에 휴대폰과 같은 기기를 연결하더라도 장애가 발생하지 않고 안정적으로 충전되도록 충회로가 구현되었다.
2. 최대의 조광효율을 갖고 장기간 배터리가 방전하도록 회로를 구성함으로써 LED의 점등시간을 지속시킬 수 있었다. 그리고 국내외서 최초로 자가발전 손전등에 LED조명기술을 도입하였다.
3. 저전력 방전기술을 도입하여 LED의 효율을 저하시키지 않으면서 LED를 구동하게 되어 단시간의 충전으로도 장시간 방전이 가능하였다.
4. 정전압, 정전류 회로를 통해 배터리를 충전하며, 과방전이 되지 않는 회로를 부착하여 가장 적은 방전이 이루어지도록 회로를 구성하기 위해 역전전류 방지회로로 구성하고 저전력 소자로서 회로를 구성하여 장기간 방치하여도 배터리가 방전되지 않도록 구현되었다.
5. 눈으로 느끼는 밝기는 백색 LED가 밝았으며, 실절적인 조도는 켈빈온도가 떨어지는 군용 손전등이 높은 수치를 나타내었다.
6. 육안으로 볼 때는 LED가 밝으나, LUX(조도) 측정 결과는 크립톤 전구가 높은 것으로 반대의 수치를 나타내었다.

참고문헌

[1] 유호천, 장문식, “태양에너지 분야의 최근 연구동향 -2000년~2002년 학회지 논문에 대한 종합적 고찰-”, 한국태양에너지학회 논문집, 제22권 4호, 12월, 2002.

[2] 김영환, 조일식, 이의준, 현명택, 강은철, “태양에너지를 이용한 열-전기 동시생산을 위한 PV-Solarwall 단위모듈 성능평가 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제25권 3호, 12월, 2005.

[3] Duffie John A. and Beckman William A., Solar

Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
[4] 조덕기, 강용혁, “국내 태양에너지 측정데이터의 신뢰성 평가 및 보정에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제25권 3호, 9월, 2005.
[5] 이관호, “환경비용을 고려한 재생에너지의 경제성 분석”, 한국태양에너지학회 논문집, 제24권 4호, 12월, 2004.
[6] Korean Standards Association, 2003, KS air-conditioner: KS C 9306.
[7] 조덕기, 강용혁, 이의준, 오정무, “국내 태양광발전시스템의 최적 설치에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제24권 3호, 9월, 2004.
[8] 조덕기, 강용혁, 이의준, 오정무, “태양광발전단지 건설을 위한 태양광자원 정밀조사”, 한국태양에너지학회 논문집, 제24권 3호, 9월, 2004.
[9] D. L. King, J. M. Gee et al, Measurement Precautions for High-Resistivity Silicon Solar Cells, IEEE, pp. 555~559, 1987.
[10] 조덕기, 강용혁, 오정무, “고지대 일사량 특성 분석에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제23권 3호, 9월, 2003.

김 홍 일(Hong-il Kim) **[정회원]**

- 1989년 2월 : 인하대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
- 2000년 2월 : 홍익대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야>
인터넷응용, IPv6