

태양광/연료전지용 배터리 충·방전 하이브리드 시스템 설계

Design of Hybrid System for Battery Charge·Discharge using Photovoltaic/Fuel cell

박봉희* · 조영민* · 최주엽*† · 조상윤* · 최익** · 이동하*** ·

Park Bong-Hee*, Jo Yeong-min*, Choi Ju-Yeop*† ,
Cho Sang-Yoon*, Choy Ick** and Lee Dong-Ha***

(Submit date : 2014. 5. 25., Judgment date : 2014. 6. 11., Publication decide date : 2014. 10. 31.)

Abstract : Photovoltaic and fuel cell systems can be used as power source in mobile robots. At this time the photovoltaic system generally generate power in daytime. The starting time of fuel cell is slower than the lithium battery. To compensate for these disadvantages, a battery charge-discharge system is used. Especially the bi-directional converter is used mainly in the charge-discharge method. The controller in a buck converter controls the input voltage of the converter to meet the maximum power point tracking(MPPT) performance. First of all, the simulations of hybrid system for battery charge-discharge system in each step simulated using solar and fuel cell modeling as input source in PSIM. Experiment of the buck and bi-directional converter system is conducted through using photovoltaic/fuel cel simulator(pCube) instead of solar and fuel cell. This hybrid system for battery charge-discharge using photovoltaic/fuel cell generates emergency power for the communication system in mobile robot.

Key Words : 태양광(Photovoltaic), 연료전지(Fuel cell), 충·방전(Charge-discharge), 최대전력추종제어(MPPT), 양방향 컨버터(Bi-directional converter), Simulator(pCube)

*† 최주엽(교신저자) : 광운대학교 전기공학과
E-mail : juyeop@kw.ac.kr, Tel : 02-940-5146
*박봉희 : 광운대학교 전기공학과
*조영민 : 광운대학교 전기공학과
*조상윤 : 광운대학교 전기공학과 및 다한테크
**최 익 : 광운대학교 로봇학부
***이동하 : 대구경북과학기술원

*† Choi Ju-Yeop(corresponding author) : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.
E-mail : juyeop@kw.ac.kr, Tel : 02-940-5146
*Park Bong-Hee : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University.
*Jo Yeong-Min : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University
*Cho Sang-Yoon : Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University and Dahan Tech
**Choy Ick : Department of Robot Engineering, Kwangwoon University
***Lee Dong-Ha : DGIST

1. 서 론

최근 전 세계적으로 기후변화 협약 온실가스배출규제 움직임 등 환경변화와 고유가로 인한 에너지비용 상승 등 국제사회에서 이슈화됨에 따라 신·재생 에너지가 새로운 화두로 떠오르고 있다. 특히 신·재생 에너지 중 태양광 발전기술에 있어서 분산전원용 및 제어기술등에 많은 성장을 이루고 있다. 또한 연료전지 분야의 경우 현재 국내에서는 2kW급 PEMFC RPG를 실용화 완료했으며 용량을 증대하여 분산전원용으로 확대를 계획하고 있다. 특히 하이브리드 자동차가 일본을 비롯한 미국에서 상용화됨에 따라 2차 전지를 대체할 연료전지 자동차용 전력변환 및 제어기술이 국내외에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 이에 대비하여 앞으로 이러한 태양광 및 연료전지의 에너지원을 사용한 기술이 많이 발달할 것으로 예상된다. 또한 이러한 기술은 점차 민수용에서 군수용으로 확대되는 추세이기 때문에 경량화 및 초소형화 되는 경향을 보이고 있다. 기존의 고효율화·초소형화 기술 개발 뿐만 아니라 새로운 신·재생에너지기술에 대한 연구 분야를 접목시키기 위해서, 본 연구는 태양광 및 연료전지를 통한 전원 공급 장치와 이 장치를 보완할 수 있는 배터리 충·방전 시스템을 이동형 로봇의 통신 전원 장치에 적용하여 보다 전문적이고 효율적인 신재생에너지용 전력변환시스템을 개발할 필요성이 있다.

이러한 이동형 로봇 분야에서 적용하는 분야는 Fig. 1과 같은 휠-트랙 하이브리드 이동 로봇으로 평지에서는 휠로 운전하여 고속주행이 가능하고, 계단 등 험지에서는 트랙을 사용하여 극복 가능한 휠-트랙복합형 이동 로봇 플랫폼의 설계 기술을 가진 로봇이다. 이러한 로봇은 사회 안전, 재난대응, 감시 정찰 등 도

시환경에서 최적의 주행 및 복잡 지형 극복 성능을 갖는 이동 로봇 플랫폼 기술을 가졌다. 이러한 민수 및 군수 로봇의 동력원으로 사용되는 배터리는 로봇의 무게가 50kg이나 나가기 때문에 높은 효율 및 에너지 밀도를 가지고 있어야 하나, 현재의 무인시스템은 주로 2차전지에 의존하여 제한된 장소와 시간만 사용이 가능하므로 이를 극복하기 위한 충전 가능한 동력원으로 신재생에너지의 개발이 요구된다. 따라서 태양광 그리고 연료전지 등을 사용하여 이러한 시스템에 통신용으로 공급하여 에너지 차원에서 보완하여 사용할 수 있는 방안에 대하여 생각하여 본다.



Fig. 1 Wheel-Track Hybrid Mobile Robot

2. 태양광 및 연료전지 파라미터

이동형 로봇의 주전원은 대용량 배터리가 담당하게 되며, 태양광용/연료전지용 충·방전 하이브리드 시스템은 대용량 배터리가 방전하였을 경우에 이동형 로봇의 위치 확인을 위하여 통신전원에 사용하는 것을 목적으로 한다. 통신용으로 사용되는 전원은 소용량 배터리를 주요 전원으로 사용하며, 추가적으로 태양광 또는 연료전지를 사용하여 보완할 수 있도록 하였다. 태양광은 일반적으로 낮에는 맑은 날

에 발전량이 많으며 구름이 있는 날에도 발전량이 감소할 뿐 발전이 가능하지만 밤에는 발전을 할 수 없으며, 연료전지는 부피당 에너지 저장량이 시중에 많이 사용되는 리튬배터리에 비하여 더 많이 저장할 수 있으나 가격이 비싸고, 또한 개질기를 통한 수소 공급 등에 대한 복잡성, 초기 구동에 시간이 발생하는 단점이 있어서 배터리를 사용한 하이브리드 시스템이 필요로 한다. 태양광 패널은 형태에 따라서 결정형, 박막형 등으로 구분할 수 있으며, 이동형 로봇과 같은 경우는 가격 및 효율은 결정형에 비하여 좋지 않지만, 이동성에 대한 이유 때문에 태양광 패널에 대한 내구성이 강하고 깨지지 않으며, 가벼운 무게에 대한 장점 때문에 박막형으로 결정하였다. 이러한 태양광과 연료전지 사양은 출력부하를 기준으로 통신용 모뎀의 부하(약7.2W)는 9V(@0.8A)에서 전력을 소비하며, 컨버터 자체의 소비전력은 약 3W의 전력을 소비하며, 이에 대한 입력 및 출력에 대한 수식(1)을 적용하도록 한다. 이 때 P_{in} 은 태양광 또는 연료전지의 입력전력이며, P_{con} 은 컨버터 보드의 소비전력, P_{load} 는 통신용모뎀에서 사용하는 부하전력으로, 입력전력에서 대기전력의 차이가 부하전력보다 크거나 같으면 적용 가능하다.

$$P_{in} - P_{con} \geq P_{load} \quad (1)$$

이러한 부하에 맞추어 태양광 모듈은 약 10W의 용량을 가진 V_{max} 는 19.3V, I_{max} 는 0.57A, V_{open} 은 22.4V, I_{sc} 는 0.62A의 태양광 패널을 사용하였다. 이러한 특성을 가진 태양광 패널로 실험하기 위하여 시뮬레이터 (pCube)를 사용하여 Fig. 2와 같이 모의 전원을 구현하였다.

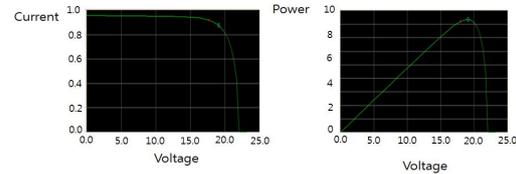


Fig.2 V-I and V-P curves in Photovoltaic simulator

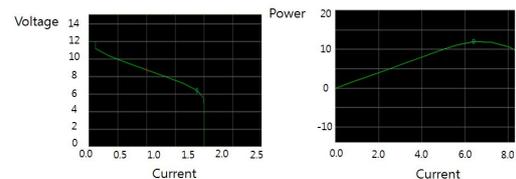


Fig.3 V-I and V-P curves in Fuel cell simulator

또한 12W급 연료전지는 초기개방 전압은 12V이며 7.8V(@1.5A)에서 12W 정격 출력을 낼 수 있으며 Fig. 3과 같이 모의 전원을 구현하였다. 배터리는 리튬폴리머 배터리를 사용하였기 때문에 기본 셀 전압이 3.6V의 배수이며 부하에 따른 양방향 컨버터에서 최소한으로 승압할 수 있도록 7.2V의 기준전압에 로봇에 최소한의 공간에 적용할 수 있도록 구매 가능한 최소한의 1300mAh의 전류용량으로 결정하였다.

3. 운전 모드

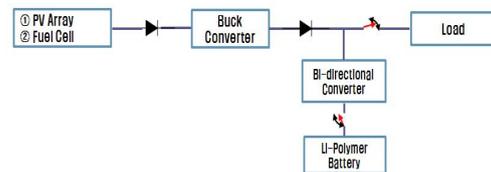


Fig.4 PV/FC hybrid system

본 논문에서 개발한 하이브리드 시스템은 태양광(Photovoltaic) 및 연료전지(Fuel cell)를 사용 목적에 따라 선택적으로 사용할 수 있고, Fig. 4와 같이 백 컨버터와 양방향 컨버

터를 사용하는 기본 구조로 되어 있으며, 기본적인 3가지 운전모드를 가지고 있다.

(1) 부하 운전 모드

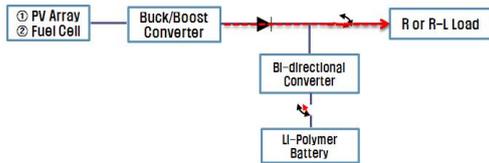


Fig.5 Load Operation Mode in Hybrid system

부하 운전 모드는 Fig. 5와 같이 태양광 및 연료전지의 출력이 부하 쪽에만 공급할 수 있을 경우에 배터리 충전이 되지 않으며 벅 컨버터를 통하여 부하 쪽에 전원을 공급하는 모드이다.

(2) 배터리 충전 모드

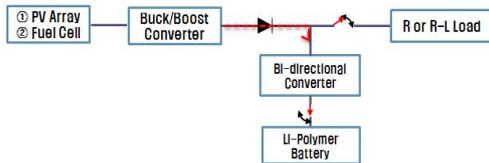


Fig.6 Battery Charging Mode in Hybrid System

충전모드는 Fig. 6과 같이 태양광 및 연료전지의 출력이 부하에서 사용하지 않거나 그 이상 발전이 될 경우에 양방향 컨버터를 통하여 배터리에 충전이 되는 모드이다. 이때 부하에 따라서 부하 운전 및 배터리 충전 모드가 동시에 사용될 수 있다.

(3) 배터리 방전 모드

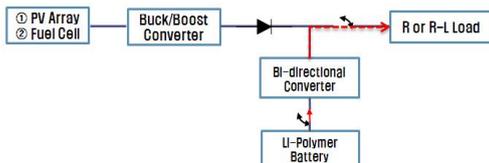


Fig.7 Battery Discharging Mode in Hybrid System

방전모드는 Fig. 7과 같이 태양광 및 연료전지의 입력이 없을 때 충전된 배터리의 전원을 사용하여 양방향 컨버터에서 부스트 컨버터로 사용하여 전압을 증압시켜 부하에 전원을 공급하는 모드이다.

4. 시뮬레이션

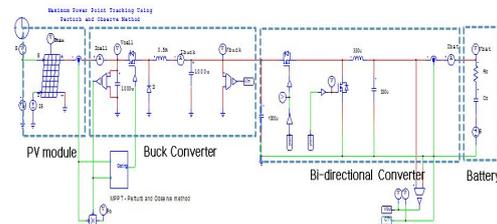


Fig. 8 Battery Charging Mode using Photovoltaic in PSIM Circuit

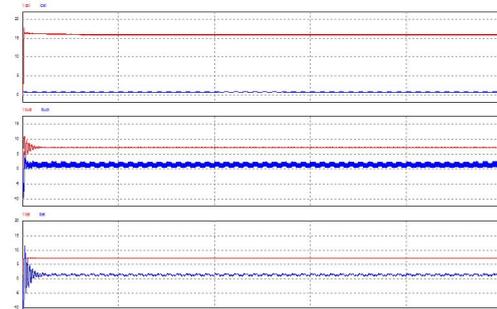


Fig. 9 Battery Charging Mode using Photovoltaic Simulation

Fig. 8은 태양광을 사용하여 부하에 전원 공급 및 배터리에 충전하는 PSIM 시뮬레이션 회로이다. 이때 벅 컨버터를 통하여 MPPT 제어가 되도록 하였으며, 양방향 컨버터에서 벅 컨버터를 통하여 배터리에 충전이 되도록 하였다. Fig. 9의 시뮬레이션 출력 결과에 따라 태양광은 16V에서 배터리는 7.17V, 부하는 7.23V의 전압을 유지함을 확인하였다.

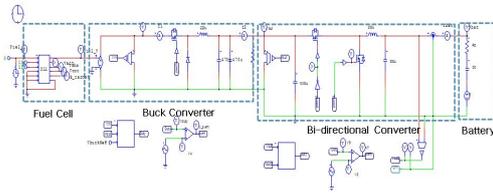


Fig. 10 Battery Charging Mode using Fuel cell in PSIM Circuit

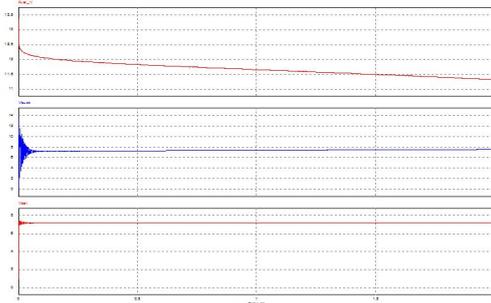


Fig. 11 Battery Charging Mode using Fuel cell simulation

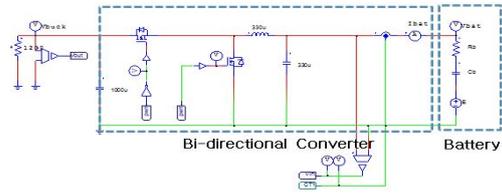


Fig. 12 Battery Discharging Mode in PSIM Circuit

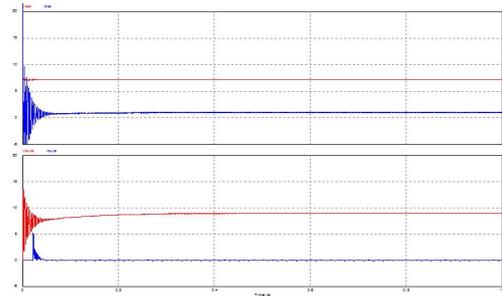


Fig. 13 Battery Discharging Mode simulation

5. 실험

Fig. 10은 연료전지를 사용하여 부하에 전원 공급 및 배터리에 충전하는 PSIM 시뮬레이션 회로이다. 이때 벅 컨버터를 통하여 부하에 전원을 공급하고 양방향 컨버터에서 벅 컨버터 기능을 사용하여 배터리에 충전이 되도록 하였다. 이때 Fig. 11의 시뮬레이션 결과에 따라 연료전지의 전압이 출력에 따라 낮아지는 것을 볼 수 있고, 이와는 별개로 벅 컨버터에서 7.39V로 전압이 일정하게 유지되며 배터리에 7.18V로 전압이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 12는 태양광 및 연료전지의 전원 공급이 없을 경우 배터리를 사용하여 방전하는 PSIM 시뮬레이션 회로이다. 이러한 시뮬레이션 결과로 Fig. 13과 같이 7.10V의 배터리의 전압이 양방향 컨버터의 부스트 컨버터를 통하여 부하 측으로 9.0V로 승압되는 것으로 알 수 있다.

기본적인 실험 구성은 모델링으로 구현된 태양광 및 연료전지 겸용 시뮬레이터(pCube)의 전원부, 벅 컨버터, 양방향 컨버터, 그리고 부하와 리튬폴리머 배터리로 구성되어 있다. 특히 이번 실험에서 사용한 Fig. 14의 pCube는 전원, DC부하, PV Simulator 및 Fuel Cell Simulator의 기능을 가진 전력 회생형 양방향 직류전원으로, 배터리 시뮬레이터 기능도 포함이 되어 있기 때문에 각종 배터리의 특성을 모의하여 실험이 가능한 장비이다. 또한 유지보수가 어렵고 실험실에서 실험하기 용이하지 않은 연료전지나 폭발의 위험성이 있는 리튬폴리머 배터리를 모의하여 실험하기에 적합하고 LAN통신 및 CAN통신도 가능하다. Fig. 14에서와 같이 벅 컨버터와 부하 측 및 배터리 측을 릴레이를 통하여 온/오프 할 수 있도록 하였고, 배터리측은 양방향 컨버터를 통하여 충·방전할 수 있도록 벅/부스트 컨버터로 동작할 수 있도록 하였다.

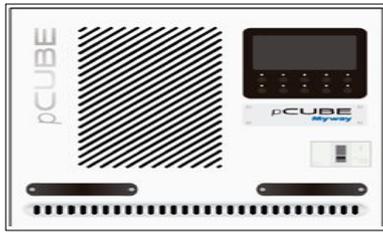


Fig. 14 Simulator (pCube)

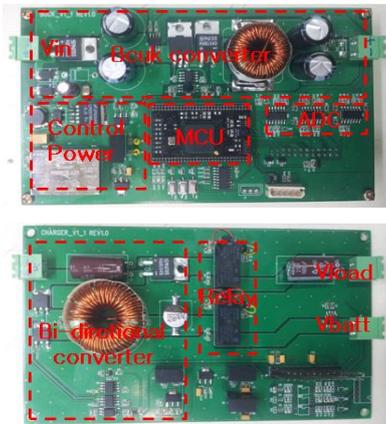


Fig. 15 Hybrid System Prototype

(1) 태양광용 충전 모드

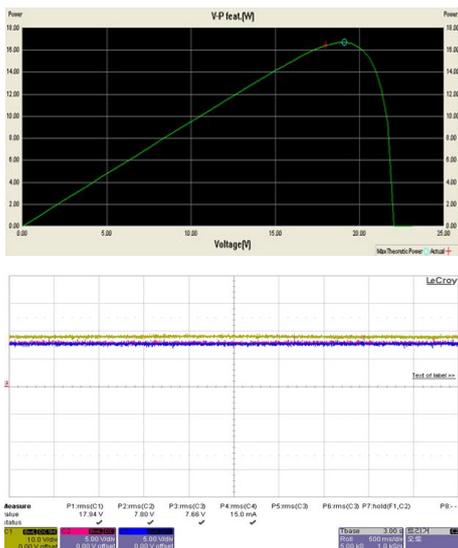


Fig. 16 Battery Charging Mode using Photovoltaic

태양광 시뮬레이터를 통한 벽 컨버터 및 양방향 컨버터에서 배터리 충전모드로 실험한 결과이다. 이때 Fig. 15에서 보이듯이 벽 컨버터로 최대 전력점 추종 제어(MPPT)를 하여 17.94V에서 태양광의 최대 전력 점에 일치하는 것을 보였으며, 부하 운전 시에는 7.80V로, 배터리 측에는 7.66V의 전압으로 충전되는 것을 확인하였다.

(2) 연료전지용 충전 모드

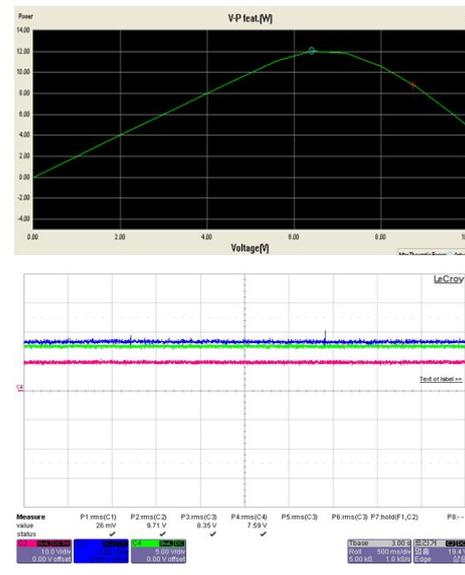


Fig. 17 Battery Charging Mode using Fuel cell

연료전지 시뮬레이터를 통한 벽 컨버터 및 양방향 컨버터에서 배터리 충전모드로 실험한 결과이다. 이때 Fig. 16과 같이 벽 컨버터로 전압제어를 하여 연료전지 전압 9.71V에서 부하에 대하여 8.35V로 부하운전, 7.59V의 전압으로 배터리 측에 충전되는 것을 확인하였다.

(3) 배터리 방전모드

배터리 방전모드는 태양광 및 연료전지의 전원이 공급되지 않을 경우, 양방향 컨버터에

서 부스트 모드로 사용하여 부하에 공급하는 모드로 실험한 결과이다. 이때 Fig 17과 같이 7.49V의 리튬폴리머 배터리로 1.09A로 방전하였을 때 부하 측에 9.11V로 승압하는 것을 확인할 수 있다.

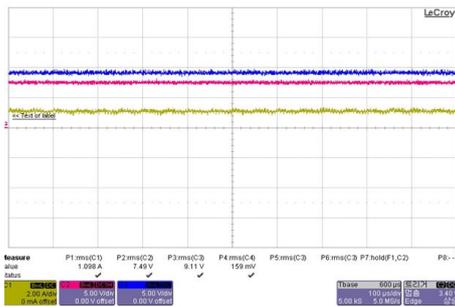


Fig. 18 Battery Discharging Mode

참 고 문 헌

1. Bong-Hee Park, "Fuel Cell Modeling with Output Characteristics of Boost Converter", Journal of the Korea Solar Energy Society, 2013.
2. Seung-Min Kim, "Motor Control and Battery Charger using Low Cost PV MPPT", Journal of the Korea Solar Energy Society, 2013.
3. Gyu-Yeong Choe, "A Bi-directional Battery Charger System Integrated Photovoltaic PCS", Journal of Power Electronics, 2010.

6. 결 론

본 논문에서는 태양광 및 연료전지, 즉 하이브리드 시스템에서 사용할 수 있는 벽 컨버터 및 배터리를 충·방전할 수 있는 양방향 컨버터를 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 본 논문의 실험 특성을 태양광/연료전지 모의전원장치(pCube)로 모델링하여 최대한 특성을 반영하였고, 이동형 로봇에 대한 통신 전원 공급이 가능하다는 것을 확인하였다. 향후 다양한 전원이 결합되는 하이브리드 전원 시스템에 적합한 고효율 전력변환장치의 핵심기술을 연구할 계획이다.

후 기

본 연구는 광운대학교 교내학술연구비 지원과 교육과학기술부 대구경북과학기술원 일반사업(14-BD-01)에 의해 수행되었습니다.