

건설장비용 태양광 에너지 충전 컨버터 개발

이승준, 오광호, 이상혁
주식회사 경신

Development of Solar Converter for Battery Charging in Excavator

Seung-Jun LEE, Kwang-Ho OH, Sang-Hyeok LEE
Kyungshin Corp.

ABSTRACT

현재 건설 중장비에는 암전류에 의한 배터리 방전 문제가 발생하고 있고 이에 태양광 충전 시스템을 필요로 한다.

본 논문에서는 6톤급 중장비에 적용 가능한 태양광 컨버터 개발에 대한 내용을 다루며 태양전지의 용량 선정, MPPT 적합성 검토, 독립형 충전 시스템 구현, 배터리 방전 방지 기능의 실효성을 확인한다. PSIM 시뮬레이션을 통해 MPPT 및 충전 로직을 검증하고 실험을 통해 40W급 충전 시스템의 P&O 알고리즘 성능을 확인한다.

1. 서론

최근 차량 내부의 편의성 및 연비 개선을 목적으로 하는 전장품의 증가^[1]로 인해 건설 중장비의 전장화가 가속화되고 있다. 이는 전기에너지 소모량 증가뿐만 아니라 배터리의 방전을 야기하는 암전류를 증가시켜 배터리 수명을 악화시키는 주요 원인이 된다. 이에 본 논문에서는 암전류에 의한 배터리 방전 방지를 목적으로 하는 독립형 태양광 충전 시스템 컨셉을 제안하고, 시스템의 주요 부품인 컨버터 개발에 대한 내용을 다룬다.

2. 태양광 충전시스템의 구성

2.1 시스템 구성

그림 1은 중장비용 태양광 충전 시스템을 나타내며 태양전지에서 생성되는 에너지를 배터리로 전달하는 기능을 수행한다. 태양전지, 컨버터, 12V 배터리로 구성되며 태양전지는 6톤 굴삭기의 기존 케빈 루프에 고정 가능하도록 사이즈 및 신축성을 고려하여 40W급 태양전지를 선정하였다. 독립적인 충전기능을 수행하고자 태양전지에서 생성되는 에너지 및 배터리 에너지 상태를 컨버터 스스로 파악하여 충전의 유무 및 전력 크기를 판단하도록 충전 로직을 설계하였다.

3. 태양광 컨버터 개발

3.1 컨버터 주요 기능

본 컨버터는 태양전지에서 생성되는 에너지를 12V 배터리로 전달하기 위해 강압형 전력변환 기능을 수행하며 동기형 벡 토폴로지로 회로를 구성한다. 태양전지의 최대전력전압인 17.2V에서 14.5V 배터리를 충전하는 기능을 수행하며 태양전지 에너지 생성량 및 배터리 상태에 따라 충전모드는 다음과 같다.

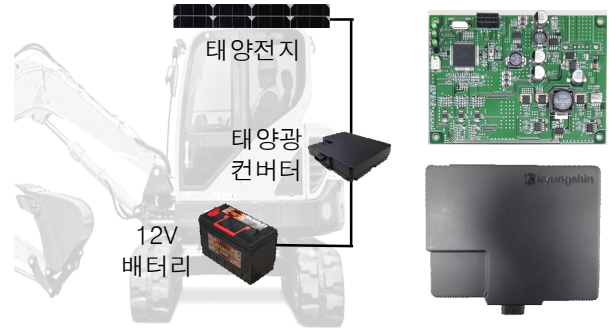


그림 1 중장비용 태양광 충전 시스템 & 태양광 컨버터

Fig. 1 Solar charging system in excavator & Solar Converter

표 1 제안된 컨버터 설계 사양

Table 1 Proposal converter specification

Power	40W
Efficiency	Max 94.3%
Size	160*120*30[mm ³]
Topology	Synchronous Buck Converter
Control	Digital Control
Case	IP69 waterproof

- (1) MPPT 모드는 배터리 에너지가 부족한 상태에서 구동되는 모드로 최대 에너지로 배터리를 충전한다.
- (2) Derating 모드는 배터리 에너지가 충분한 상태에서 구동되는 모드로 점진적으로 충전 전력량을 감소시키며 배터리를 충전 한다.
- (3) Floating 모드는 배터리가 완충된 상태에서 구동되는 모드로 충전이 이루어지지 않는다.

태양전지에서 생성되는 에너지를 최대화 하기 위해서는 MPPT 기능이 필요하다. MPPT 알고리즘으로는 실시간으로 최대 에너지를 추적하여 MPP를 변화시키는 P&O 알고리즘과, 오직 하나의 MPP만을 추적하는 CV 알고리즘이 있으며 본 컨버터에서는 P&O 알고리즘을 디지털 제어기로 구현한다. 태양광이 충분하지 않을 경우 컨버터가 12V 배터리의 전력을 소모하지 않도록 태양전지 생성 에너지 기반으로 제어회로의 전원을 공급받도록 전원체계를 설계한다. 케이스 단가절감을 위해 플라스틱 기반으로 IP69 수준의 방수 방진 기능을 구현하였고 추가적인 컨버터의 설계 사양은 표 1 에서 확인할 수 있다.

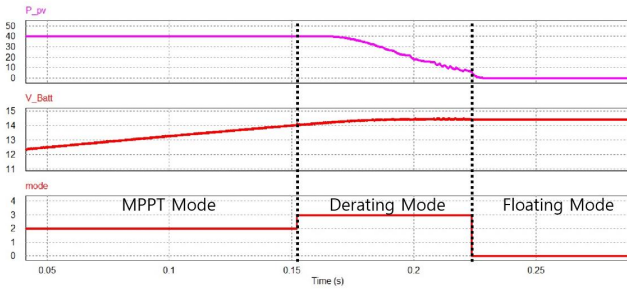


그림 2 배터리 상태에 따른 충전모드 시뮬레이션
Fig. 2 Simulation of charging modes according to battery condition

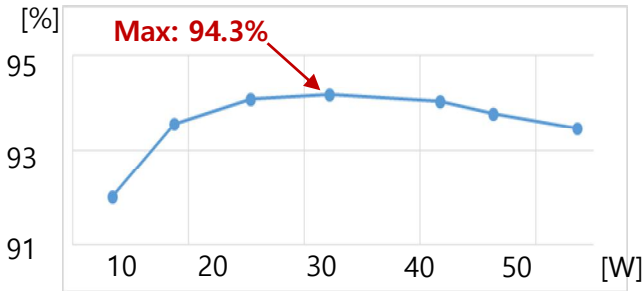


그림 3 태양광 컨버터 전력변환 효율
Fig. 3 Power conversion efficiency for solar converter

4. 시뮬레이션 및 실험결과

4.1 MPPT 및 충전모드 시뮬레이션

그림 2에서는 컨버터의 동작모드에 따른 배터리 충전 전력량을 확인할 수 있다. 실제 컨버터의 동작모드는 태양 전지의 전력 및 배터리 전압을 기준으로 결정되지만 본 시뮬레이션은 태양전지 에너지가 40W로 충분하다는 조건으로 배터리 전압에 따른 충전모드를 구현 하였다. 배터리 전압이 14V 이하일 경우에는 MPPT 모드로 충전이 이루어 지고 이는 최대 전력점인 40W 지점에서 태양전지가 전력을 생성하여 P&O 알고리즘이 정상 동작함을 확인할 수 있다. 배터리 전압이 14V~14.5V에서는 Derating 모드로 충전 전류가 점진적으로 감소함을 확인할 수 있고, 완충 전압인 14.5V 이상에서는 Floating 모드로 더 이상 충전되지 않음을 확인할 수 있다.

4.2 전력변환 및 충전 실험

입력 17.2V, 출력 14.5V 조건에서 전력변환 용량을 늘려가며 효율을 측정하였다. 파워서플라이(PWX1500L)를 입력전원으로 사용하고, 12V 배터리를 출력에 연결 하여 충전시스템을 구현하였고, 전력분석기(WT1800)로 효율을 측정하였다.

그림 3은 태양광 컨버터의 전력변환 효율을 측정한 곡선을 나타낸다. 디지털 제어기반으로 동기형 벡 컨버터의 전력변환 기능을 수행하였고, PWM으로 동작하는 전 범위에서 92% 이상의 효율을 가짐을 확인하였으며, 태양전지의 주요 생성 전력범위인 30~35W에서 최대 효율을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

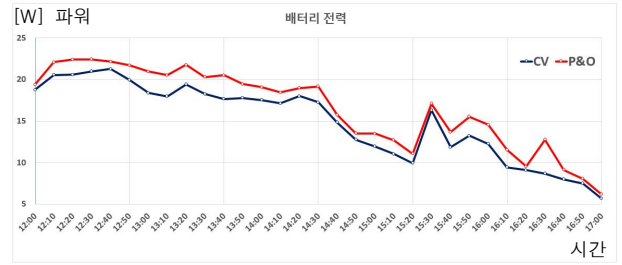


그림 4 MPPT 알고리즘에 따른 충전 전력량 비교 (P&O, CV)

Fig. 4 Comparison of amounts of power charged according to MPPT algorithm (P&O and CV)

4.2 MPPT 비교 실험

MPP는 태양전지의 일사량, 표면온도에 따라 달라지기 때문에^[2] 적합한 MPPT 알고리즘을 선정하는 과정이 필요하다. 본 실험에서는 40W급 시스템에 적합한 MPPT 알고리즘을 선정하고자 두 컨버터에 P&O 및 CV 알고리즘을 각각 적용하여 비교 실험을 시행하였다. CV의 MPP는 일반적으로 개방전압의 70~80% 수준의 전압으로 선정하기에 본 실험에서는 개방전압 조건을 고려하여 17.2V를 CV MPP로 선정 하였다.

그림 4는 P&O 및 CV 알고리즘이 적용된 두 태양광 충전 시스템에서 생성되는 에너지로 배터리를 충전하였을 때의 전력량 크기를 나타내는 그래프이다. 실험을 통해 P&O 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있으며 CV 알고리즘 대비 전 범위에서 에너지 생성 전력이 증가하였음을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 안전류에 의한 배터리 방전 방지를 목적으로 하는 태양광 컨버터 개발에 관한 내용을 다루었다. 6톤급 중장비의 케빈룸 루프에 설치가 가능한 40W급 태양전지를 기준으로 태양광 컨버터 용량을 선정하였고, PSIM의 C-block 기능을 통해 MPPT, 충전 제어로직, 전력변환 제어기의 알고리즘 및 소스코드를 검증하였다.

P&O 및 CV 알고리즘의 차이에 의한 배터리 충전량을 비교하는 테스트를 시행함으로써 40W급 태양전지 충전 시스템에서 P&O 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있었다. CV MPPT 기능은 저가형 아날로그 제어만으로도 구현이 가능하기에 가격경쟁력을 고려한 제품의 실효성을 검토하는 자료로 활용할 수 있었다. 실험을 통해 확인한 태양광 생성 에너지량이 안전류를 방지하는데 충분함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T.S. Kwon, "Power Control Algorithm for Hybrid Excavator With Supercapacitor", Published in: IEE E Transactions on Industry Applications, pp.1447 -1448, July-Aug, 2010)
- [2] R. F. Coelho, F. M. Concer, D. C. Martins, "A MPPT approach based on temperature measurements applied in PV systems", Proc. IEEE ICSET, pp. 1-6, 2010.