

Droop Method를 이용한 50[W]급 태양전지 가상구현 시스템의 병렬연결 출력특성에 대한 연구

이병인, 이상용, 오방원, 정병환, 최규하
건국대학교 전기공학과

A Study Of Parallel Characteristics Of 50[W] Virtual Implement of 50[W]Solar Cell modules Using Droop-Method

B.I. Lee, S.Y. Lee, B.W. Oh, B.H. Jung, and G.H. Choe
Dept. of Electrical Engineering Konkuk University

ABSTRACT

Generally, photovoltaic system is composed with several solar cell modules. For increasing power of photovoltaic systems, serial and parallel connection needed. A Desirable characteristic of a parallel supply system is that individual converters share the load current equally and stably. The current sharing(CS) can be implemented using two approaches. The first one, known as a droop method, relies on the high output impedance of each converter. and The second approach, known as active current-sharing techniques. In this paper, using droop method at parallel connection with it's convenience and simplicity.

1. 서 론

태양광발전 시스템은 용량증대를 위하여 복수개의 태양전지의 조합으로 이루어진다. 하지만 태양광발전 시스템을 설치하기 위해선 비용 및 공간의 문제점이 제기되는 현실이다. 이를 해결하기 위하여 태양전지의 출력특성을 가상구현 할 수 있는 태양전지 출력특성 가상구현장치를 개발하여 비용 및 공간 문제의 해결, 또한 태양전지의 특성상 같은 환경조건에서의 재실험이 어렵다는 문제점을 해결하였다. 태양전지 출력특성 가상구현장치 또한 태양광 발전 시스템처럼 직·병렬 연결을 통한 용량증대 및 이때의 출력특성에 대한 연구가 필요하게 되었다. 이때 병렬연결시 가장 중요한 점은 복수개의 컨버터가 똑같은 전류분담을 안정적으로 해야한다는 것이다. 전류분담에는 크게 두 가지 방법이 있는데 하나는 Droop method이며 다른 하나는

active current-sharing method로 나눌 수 있다. 이 중 droop method는 컨버터제어 회로간 선로연결이 필요 없으며 구현과 확장이 용이하다는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 Droop method를 사용하고 전압제어기를 사용하였을 시의 출력특성을 시뮬레이션과 비교, 분석해 보았다.

2. 태양전지의 특성 및 모델링

2.1 태양전지의 특성

태양전지의 출력은 환경의 영향을 많이 받으며 특히 그중 온도 및 일사량의 변화에 매우 의존적이다. 태양전지의 온도 및 일사량에 따른 특성을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림 1은 일사량에 따른 태양전지의 출력의 변화를 보여주고 있으며 그림 2는 온도에 따른 개방전압의 변화추이를 보여준다. 일사량의 변화시 태양전지의 개방전압은 큰 변동이 없는 반면 출력전류가 크게 변화하고 있고, 셀의 온도 변화시는 개방전압이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다.

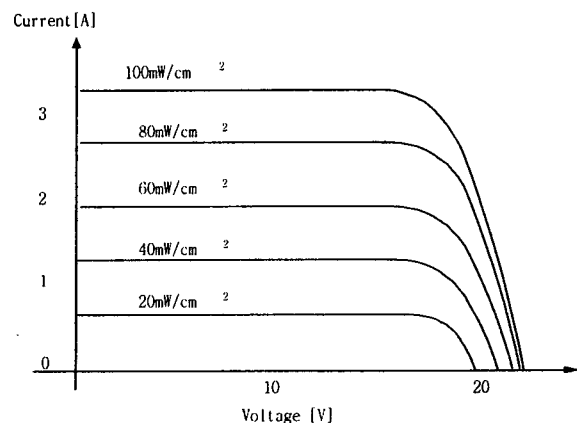


그림 1 태양전지의 일사량에 따른 출력특성
Fig. 1 Output characteristics with varying insolation level.

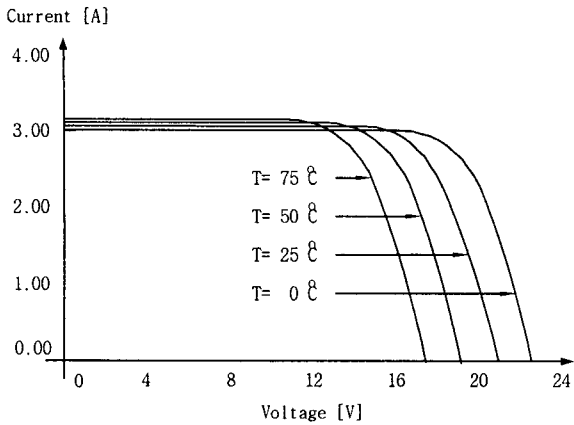


그림 2 태양전지의 온도에 따른 출력특성
Fig. 2 Output characteristics with varying cell temperature.

2.2 태양전지의 모델링

태양전지의 모델링에는 크게 두가지가 있다. 하나는 매개변수형 모델링이며, 다른 하나는 보간형 모델링 방법이다. 이중 매개변수형 모델링은 태양전지의 출력특성을 거의 정확하게 구현할 수가 있으나 정확한 값의 태양전지의 특성함수가 필요하며, 식의 복잡함으로 인해 구현이 어려우며 계산량이 많다는 단점이 있다. 그림 3은 태양전지의 등가회로를 나타내며 식 (1)은 이 태양전지의 매개변수형 모델을 나타낸다.

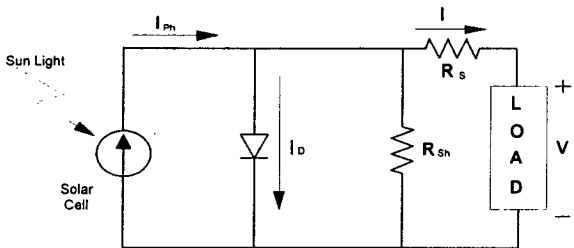


그림 3 태양전지 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of solar cell

$$I = I_{Ph} - I_D = I_{Ph} - I_0 \left[e^{\frac{qV}{nKT}} - 1 \right]$$

$$= I_{Ph} - N_p J_0 \left[e^{\frac{qV}{AKTN}} - 1 \right] - \frac{V + IR}{R_{sh}} \quad (1)$$

여기서,

- I_{Ph} : 광기전류
- I_0 : 다이오드 포화전류
- K : 볼츠만 상수 ($1.3810 \times 10^{-23} J/K$)
- q : 전하량 ($1.602 \times 10^{-19} C$)

보간형 모델링은 태양전지의 출력특성을 손쉽게 수학적으로 모델링하는 방법으로서, 태양전지의 개

방전압 (V_{oc})과 단락전류 (I_{sc}), 최대전력점에서의 전압·전류 (V_{mp}, I_{mp})를 통해 태양전지의 특성을 나타내는 것이다. 식(1)은 보간형 모델링을 나타낸다.

$$\left(\frac{V_{cell}}{V_{OC}} \right)^m + \left(\frac{I_{cell}}{I_{SC}} \right)^n = 1$$

$$V_{mp} = V_{OC} \sqrt[m]{\frac{n}{n+m}}, \quad I_{mp} = I_{SC} \sqrt[n]{\frac{m}{n+m}} \quad (2)$$

여기서,

V_{cell}, I_{cell} : 태양전지의 출력전압·전류

V_{mp}, I_{mp} : 최대전력점에서의 전압·전류

V_{OC}, I_{SC} : 태양전지의 개방전압, 단락전류

m, n : 전압상수, 전류상수

3. 태양전지 가상구현장치의 구성

태양전지 단위 셀의 출력을 구현하기 위한 장치로서 태양전지의 출력을 구현할 수 있는 출력범위(전압 0~30[V], 전류 0~3.5[A])를 갖는 Buck 컨버터를 설계하였으며 이를 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 본 연구에서 사용된 태양전지 단위 셀은 삼성전자에서 생산하는 SM-50 태양전지 셀을 기준으로 모델링 하였으며, 표 1은 SM-50 태양전지 셀의 사양을 나타내고 있다. 또한 태양전지 출력특성 가상구현을 위한 Buck 컨버터의 사양은 표 2와 같다.

표 1 SM-50 사양
Table 1 SM-50 specification.

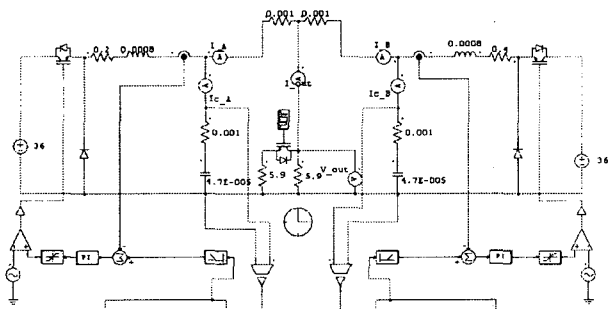
| | |
|----------|----------|
| 최대 출력 | : 50 W |
| 최대 출력 전압 | : 17.1 V |
| 최대 출력 전류 | : 2.92 A |
| 단락 전류 | : 3.17 A |
| 개방 전압 | : 21.1 V |

표 2 Buck 컨버터 정격
Table 2 Buck converter parameter.

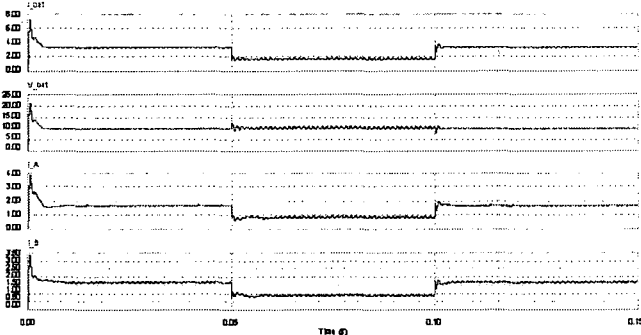
| 항 목 | 설계값 | 단 위 |
|------------|-----|-------|
| 입 력 전 압 | 36 | [V] |
| 정 격 용 량 | 50 | [W] |
| 스 위칭 주 파 수 | 40 | [kHz] |
| 인덕턴스 | 0.8 | [mH] |
| 커패시턴스 | 47 | [μF] |
| 전압 리플 | 5 | % |
| 전류 리플 | 5 | % |

4. 시뮬레이션

시뮬레이션은 전력전자 전용툴인 PSIM을 사용하였으며, 태양전지 가상구현 장치의 병렬연결에는 컨버터 간의 신호선 연결이 필요없으며 구현과 확장이 용이한 Droop method를 사용하였다. 제어기는 보간형 모델링을 PV모델화한 전압제어기를 사용하였으며, 병렬연결시 두개의 태양전지 가상구현 장치가 동일하지 않을 수 있으므로 내부저항등의 값에 차이를 주었다. 그림 4은 시뮬레이션 회로도 와 그에 따른 각부의 출력전류와 출력전압을 보여주고 있다.



(a) 전압제어기를 사용한 병렬연결 회로도
(a) Parallel connection with voltage controller.



(b) 전압제어기를 사용한 병렬연결 각부파형
(b) When voltage-controlled parallel connection.

그림 4 전압제어기를 사용한 병렬연결시 회로도 와 파형
Fig. 4 Circuit and Wave forms at voltage controller.

5. 실험

태양전지 가상구현장치의 병렬연결시 출력특성을 알아보기 위하여 50[W]급 용량의 Buck컨버터를 제작, 병렬연결하였다. 제어방법으로는 DSP를 이용한 전압제어기를 사용하였고 컨버터간 병렬연결을 위하여 Droop method를 사용하였다. 그림 5는 50[W]급 가상구현장치인 Buck컨버터의 출력특성이며 그림 6은 부하변동시의 출력을 보여주고 있으며, 그림 7은 병렬연결시 부하가 변동함에 따른 각 컨버터의 전류분담 특성을 보여주고 있다.

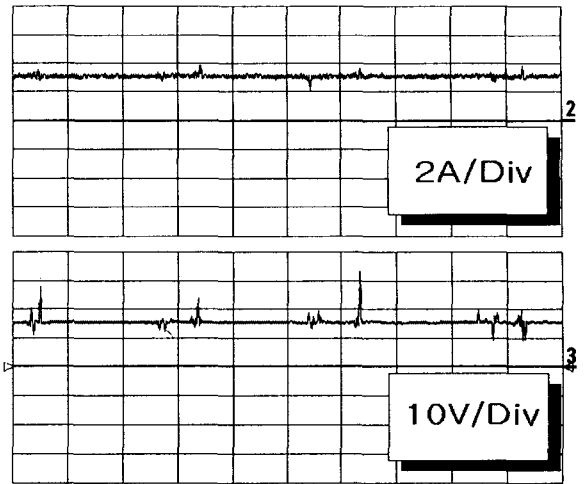


그림 5 태양전지 가상구현시스템의 출력파형
Fig 5. Virtual implement of solar cell's output characteristics.

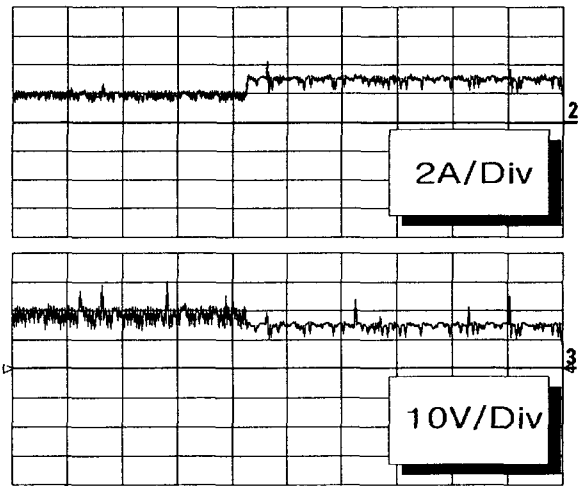


그림 6 부하감소시 태양전지 가상구현시스템의 출력파형
Fig 6. Virtual implement of solar cell's output characteristics at varying load.

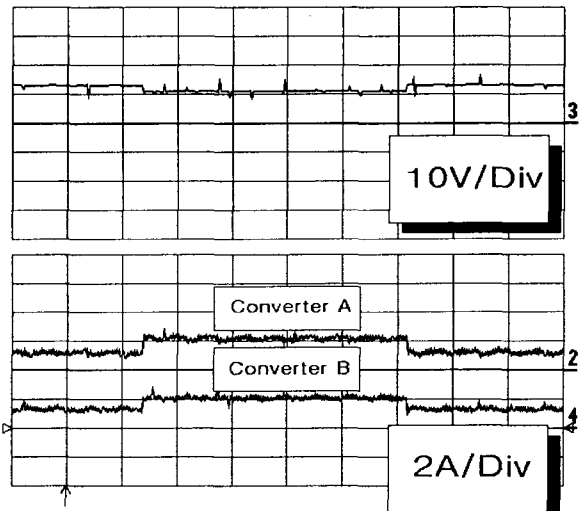


그림 7 병렬연결시 태양전지 가상구현시스템의 출력파형
Fig 7. Output characteristics of parallel connection at varying load.

이 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3 시뮬레이션과 실험출력 특성의 비교

Table 3. Comparison of output characteristics and simulation

| | 컨버터 A의 출력전류[A] | 컨버터 B의 출력전류[A] | 출력전압[V] |
|-------|-------------------|-------------------|---------|
| 시뮬레이션 | 1.7 | 1.7 | 10 |
| 실험치 | 2.1 | 2.0 | 10.5 |
| 오차 | 0.4 | 0.3 | 0.5 |

6. 결 론

본 논문에서는 태양전지가상구현 장치의 설계 및 전압제어기를 사용하여 Droop method를 통한 병렬연결시의 전류분담특성을 알아보았다. 부하변동 시 시뮬레이션에서 먼저 보았던 전류분담특성이 이루어지는 것을 확인할 수 있었으나, 동일한 설계사양의 컨버터임에도 불구하고 출력전류가 다름을 또한 확인할 수 있었다. 또한 시뮬레이션 결과, 실제 실험치와 시뮬레이션 결과 사이에 오차가 다소 많은 것을 확인할 수 있었다. 이에 추후에 조금더 정확한 제어기값 선정과 설계치 수정 및 전압제어기가 아닌 전압·전류제어기를 사용하여 속응성 및 응답성을 높이고 다수개의 병렬연결과 직렬연결시의 실험이 이루어져야 하겠다.

이 논문은 산학 협동 재단 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Shiguo Luo "A Classification and Evaluation of Paralleling Methods for Power Supply Modules", IEEE, pp. 901-908, 1999.
- [2] 고재석, "PWM 컨버터-인버터 시스템의 제어기 최적설계", 건국대학교 공학박사 학위논문, 2001.
- [3] Y. Iida, Y. Fuchikami and Y. Neba "Analysis of step-up chopper with photovoltaic array", IEEE Japan Annual Meeting Vol4, No.841, pp.4/180, 19
- [4] 김홍성, "3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 제어기설계" 건국대학교 공학박사 학위논문, 1988.