

## 태양광발전의 운용효율 향상을 위한 DC/DC 전압 레귤레이터의 구현 및 특성분석

김찬혁, 최성식, 강민관, 정영문, 노대석\*  
한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

### Implementation and Characteristic Analysis of DC/DC Voltage Regulator for Operation Efficiency Improvement in PV system

Chanhyeok Kim, Sungsik Choi, Minkwan Kang, Youngmun Jung, Daeseok Rho\*  
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology & Education

**요약** 최근, 전 세계적으로 신·재생에너지에 대한 관심이 증가됨에 따라 친환경적이고 무한한 태양에너지를 이용하는 태양광 발전의 설치가 매년 급증하고 있다. 그러나, 태양광발전시스템은 일반적으로 태양광 전지에서 발생한 에너지로부터 전력 변환장치(DC/AC)를 거쳐 계통연계 지점까지 약 25%의 전력손실을 발생시키고 있다. 이 전력손실 가운데, 일부 태양광 모듈에 음영이나 환경변화(일사량, 온도, 습도 등)로 인해 스트링의 출력 전압이 인버터의 동작전압보다 낮아지면 해당 스트링이 동작하지 않아 전체의 발전효율이 감소하거나, 최악의 경우 인버터가 탈락되어 계통의 출력 전력이 저하되는 등의 손실이 큰 부분을 차지하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 개선하기 위하여, 각각의 스트링별로 DC/DC 전압 레귤레이터를 도입하여 환경변화에 따른 전압 저하로 발생하는 스트링의 탈락을 방지하는 제어방식을 제시하였고, 기존 인버터의 MPPT(P&O) 제어와 정전압 제어기능을 전압 레귤레이터에서 수행하는 방식을 채택하였다. 또한, 제안한 알고리즘을 바탕으로 2kW급의 전압 레귤레이터를 구현하여 기존의 운용방식과 비교, 분석한 결과, 환경변화에 따른 다양한 시나리오에서 제안한 운용방식의 운용효율이 크게 향상됨을 확인하였다.

**Abstract** Recently, the installation of photovoltaic(PV) systems has been increasing due to the worldwide interest in eco-friendly and abundant solar energy. On the other hand, a PV system has approximately 25% power loss while the energy generated from solar cells is transformed to the power coupling point through a power conversion system (DC/AC). If the output voltage of a string in the PV system is lower than the operating range of the inverter when a part of module in the string has a shadow due to weather conditions, the string is not synchronized and the whole efficiency of output power in a PV system may be reduced significantly. Therefore, to overcome this problem, this paper proposes a novel control method to compensate for the lower voltage by introducing a DC/DC voltage regulator for each string in a PV system, which adopts a concept for MPPT (Maximum Power Point Tracking) control function using the P&O algorithm and adopts constant voltage control method used in an existing inverter. This paper also implements a 2kW DC/DC voltage regulator based on the proposed algorithm and performs a variety of scenario-based experiments. From the simulation result, it was confirmed that the operation efficiency in the proposed method is improved compared to the existing method.

**Keywords :** Constant Voltage Control, DC/DC Voltage Regulator, Maximum Power Point Tracking, Photovoltaic System, 3-Phase Inverter

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No.20163010012310)

\*Corresponding Author : Daeseok Rho(Korea University of Technology & Education)

Tel: +82-41-560-1167 email: dsrho@kut.ac.kr

Received February 28, 2017

Revised March 15, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

## 1. 서론

오늘날 지속적인 에너지 수요 증가와 화석연료 사용에 따른 환경오염으로 인한 지구온난화를 예방하기 위해 신재생에너지전원을 이용한 발전시설의 보급이 확대하고 있다. 그 중에서 태양광발전은 친환경적이면서 고갈될 염려가 없고 유지보수가 용이하여 잠재적 가치가 큰 에너지로 평가받고 있다.[1] 그러나 태양광 에너지는 기존의 화석연료에 비해 초기 투자비와 발전단가가 높아 태양광 발전 시스템의 비용을 낮추는 것보다 운용상의 손실요소를 개선하여 발전효율을 높이는 것이 더욱 경제적이다.

국내 태양광발전 시스템의 효율 분석에 따르면, 모듈의 온도·온도·음영, 전압 불일치에 따라 23.5[%] 정도의 손실이 발생되고 있다.[2] 이 전력손실 가운데, 일부 태양광 모듈에 음영이나 환경변화(일사량, 온도 등)로 인해 스트링의 출력전압이 인버터의 동작전압보다 낮아지면 해당 스트링이 동작하지 않아 전체의 발전효율이 감소하거나, 최악의 경우 인버터가 탈락되어 계통의 출력전력이 저하되는 등의 손실이 큰 부분을 차지하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 개선하기 위하여, 각각의 스트링별로 DC/DC 전압 레귤레이터를 설치하여 환경변화에 따른 전압저하로 인한 스트링의 탈락을 방지하도록 하며, 기존 인버터 MPPT제어와 정전압 제어 기능을 전압 레귤레이터에서 수행하도록 구현하였다. 또한, 이를 바탕으로 시나리오별 특성시험을 수행한 결과, 기존의 방식보다 운용효율이 향상됨을 확인하였다.

## 2. 기존의 운용방식의 문제점 분석

### 2.1 중앙 집중형 방식

중앙 집중형 방식은 그림 1과 같이 태양광 모듈이 직렬로 구성된 스트링과 중앙에 설치된 구성되어 있다. 따라서, 구조가 간단하고 단위 용량당 발전 시스템의 단가가 저렴한 편이다. 하지만, 중앙에 설치된 하나의 인버터가 태양광 스트링 전체의 MPPT 제어를 수행하기 때문에, 태양광 모듈의 부정합 문제나 부분 음영과 같은 주변 환경에 의해 정상적으로 동작하지 않는 스트링으로 인하여 많은 손실이 발생할 수 있다.

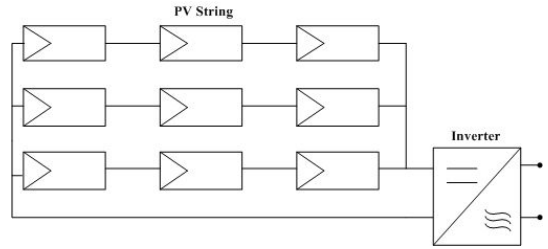


Fig. 1. Central inverter system

### 2.2 스트링형 방식

스트링형 방식은 그림 2와 같이 태양광 모듈이 직렬로 구성된 스트링마다 인버터를 적용하는 방식이다. 따라서 태양광 모듈의 부정합 문제나 부분 음영과 같은 주변 환경에 의해 정상적으로 동작하지 않는 스트링도 개별 인버터의 출력제어에 의하여 손실을 저감시킬 수 있다. 하지만 인버터의 개수가 증가하여 투자비나 유지비용이 상승할 수 있다.

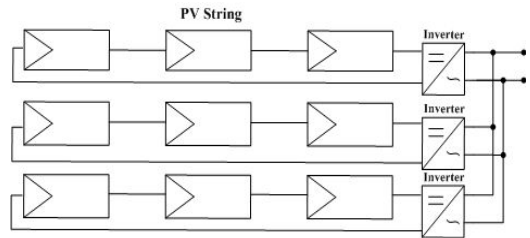


Fig. 2. String inverter system

## 3. DC/DC 전압 레귤레이터의 제어 알고리즘

### 3.1 MPPT 제어

DC/DC 전압 레귤레이터의 MPPT 제어 알고리즘은 간단한 피드백 구조와 소수의 측정 파라미터를 가지고 있기 때문에 P&O(Perturb and Observe) 제어 방식이 널리 사용되고 있다. 이 제어방식은 그림 3과 같이 기준전압( $V_{ref}$ )에 전압변동분을 가감하고, 이전 전력값과 현재 전력값을 비교함으로써 최대전력출력점을 추종한다 [3-4]. 그림 3에서  $V(t)$ ,  $I(t)$ ,  $P(t)$ 는 각각 현재의 스트링 전압, 전류, 전력을 의미하며,  $\Delta t$ 는 측정시간 간격을 나타낸다.

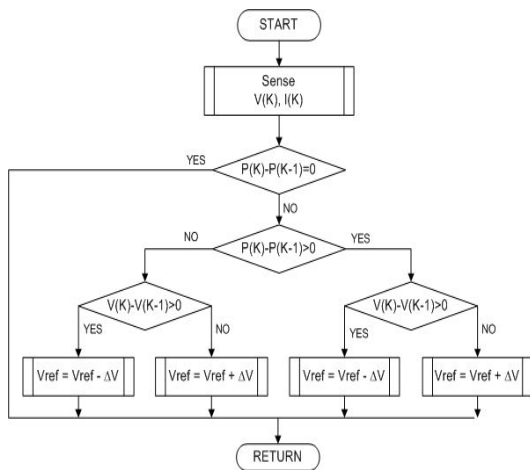


Fig. 3. P&amp;O algorithm for MPPT control

### 3.2 정전압 제어

태양광 모듈 일부에 음영이 발생하여 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압범위 미만으로 감소하게 되면, 역전압 다이오드에 의하여 해당 스트링이 인버터에서 탈락되어, 태양광전원 전체적인 운용효율이 저하하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 DC/DC 전압 레귤레이터의 정전압 제어를 제안한다. 이 전압제어 방식은 태양광 스트링의 입력전압에 대하여 목표로 하는 출력전압을 유지시키는 것을 의미하는데, 현재 출력전압과 목표전압과의 오차에 대한 PI제어를 수행함으로써 원하는 출력전압을 달성한다. 최종적으로 제어회로에서 출력된 신호를 삼각파와 비교하여 정전압 출력을 위한 듀티비를 계산하여, FET 소자에 출력된 제어신호를 인가한다. 구체적인 제어 알고리즘은 다음과 같다.[5]

[STEP 1] 목표로 하는 전압 레귤레이터의 출력전압 ( $V_{target}$ )을 설정하고, 그 값과 현재 출력전압 ( $V_o(t)$ )을 비교하여 오차분이 허용범위 이내이면, 정전압 제어가 정상적으로 이루어진다고 판단하여 기존의 듀티비(Duty ratio)를 유지한다.

[STEP 2] [STEP 1]에서 오차분이 허용범위를 벗어나면, 오차분에 대한 PI 제어를 수행한다. 여기서, 목표전압과 전압 레귤레이터의 출력전압 사이의 오차분은 식 (1)과 같고, 오차

분에 대한 PI 제어는 식 (2)와 같다.

$$e_V(t) = V_{target} - V_o(t) \quad (1)$$

$$PI(t) = K_p e_V(t) + K_i \int_0^t e_V(\tau) d\tau \quad (2)$$

여기서,  $e_V$ : 전압 오차분[V],  $V_{target}$ : 전압 레귤레이터의 목표 출력전압[V],  $V_o$ : 전압 레귤레이터의 출력전압[V],  $PI$ : 전압 오차분에 대한 비례적분 제어 계산값,  $K_p$ : 비례이득,  $K_i$ : 적분이득,  $t$ : 시간

[STEP 3] [STEP 2]에서 출력된 신호는 삼각파와 비교되어 듀티비가 결정되고, MOSFET 소자에 인가되어 전압 레귤레이터의 출력전압이 결정된다.

상기의 알고리즘을 플로우차트로 나타내면 그림 4와 같다.

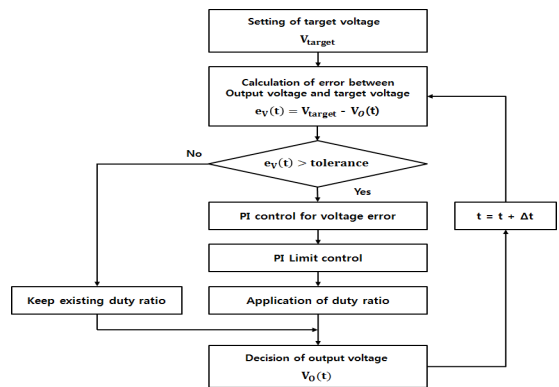


Fig. 4. Constant voltage control algorithm

## 4. DC/DC 전압 레귤레이터 구현

### 4.1 DC/DC 전압 레귤레이터의 구성

구름 또는 건물로 인하여 일부 태양광 모듈에 음영이 발생하여도 태양광발전 전체 운용효율이 저하되는 문제점을 해결하기 위하여, 스트링별로 DC/DC 전압 레귤레이터를 도입하여 MPPT 제어와 정전압 제어기능을 수행할 수 있도록 하며, 계통연계 인버터는 조류의 방향만 결정하도록 그림 5과 같이 구성하였다[6-9].

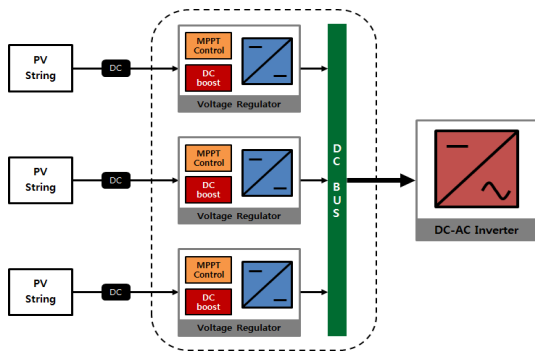


Fig. 5. DC/DC voltage regulator Configuration

### 4.2 DC/DC 전압 레귤레이터의 구현

DC/DC 전압 레귤레이터는 그림 6과 같이 전력 보드(power board)와 제어 보드(control board)로 구성하였다. Power board는 브리지 다이오드와 콘덴서를 이용하여 전압 부스팅을 수행하고, 또한 출력 전압 및 전류의 리플을 저감시킨다[10-12]. Control board는 상기에서 제안한 MPPT 제어와 정전압 제어 알고리즘을 DSP (digital signal processor)에 의하여 구현하였다. 여기서, 정전압 제어 방식은 태양광 스트링의 입력전압에 대하여 목표로 하는 출력전압을 유지시키는 것으로 현재 출력전압과 목표전압과의 오차에 대한 PI제어를 수행함으로써 원하는 출력전압을 구한다. 또한 출력전압이 일정범위를 초과하면, 전압 레귤레이터의 동작을 차단하는 출력 과전압 보호기능을 제시하였다.

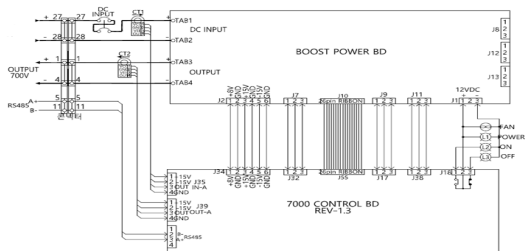


Fig. 6. Board Configuration of DC/C voltage regulator

DC/DC 전압 레귤레이터의 전력 스위칭 소자는 그림 7과 같이, 소형화 및 고효율에 적합한 FET를 사용하였다. 스트링별 전압 레귤레이터의 DC 입력전압 범위는 경년열화 및 환경조건(일사량, 온도, 습도) 등에 따라 150~600[V]로 설정하였고, 출력전압은 AC 380[V]를 공급하기 위하여 DC 700[V]으로 설정하였다. 계통연계형 인버터는 전압 레귤레이터의 DC 700[V]의 전압을

입력받아, 3상 380[V]의 AC로 변환하여 전력계통과 연계되도록 구현하였다. 또한, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추정하도록 하였다. 상기에서 제시한 DC/DC 전압 레귤레이터 (MPPT 제어, 정전압 제어)와 3상 계통연계형 인버터 (PLL 제어)를 포함한 고효율 태양광발전 시스템을 나타내면 그림 8과 같다.

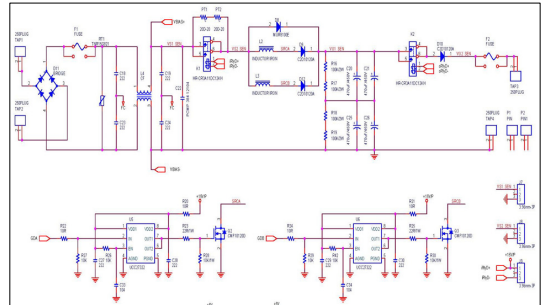


Fig. 7. Power Board Configuration

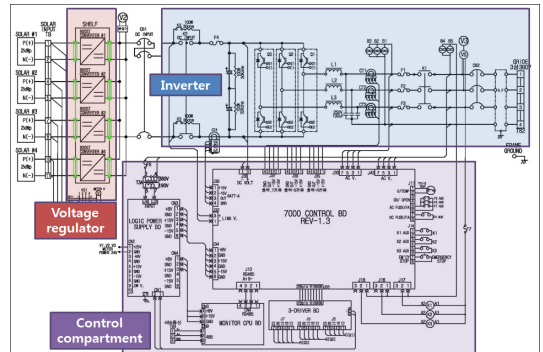
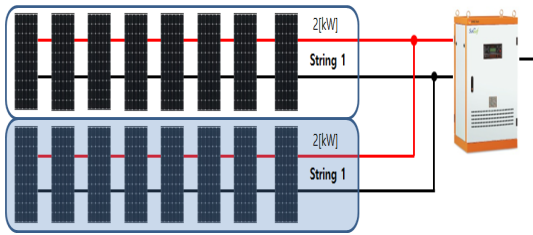


Fig. 8. Configuration of high efficiency photovoltaic system by proposed method

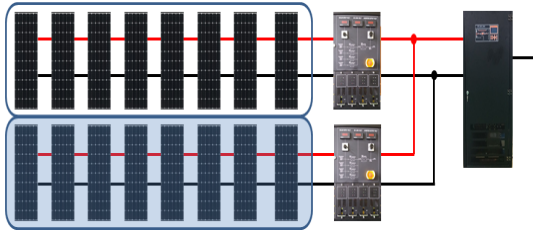
## 4. 특성시험 및 분석

### 4.1 시험 조건

기존의 운용방식과 제안한 운용방식의 태양광발전의 운용효율을 비교, 분석하기 위하여 그림 9과 같이 테스트 베드를 구축하였다. 태양광 스트링은 정격출력 250[W]급 모듈 8개를 직렬로 연결하여 2[kW]급으로 구성하였으며, 이 스트링 2개를 병렬로 연결하여 4[kW]급 태양광발전 시스템을 구성하였다.



(a) Existing photovoltaic system model consisting of two strings



(b) Proposed photovoltaic system model consisting of two strings

Fig. 9. Test Bed of photovoltaic system according to control methods

한편, 태양광 스트링 중에서 일부 모듈의 경년열화, 환경조건(일사량, 온도, 습도) 등으로 인하여 태양광 인버터가 동작하지 못하는 현상을 모의하기 위해, 본 논문에서는 1번 스트링에 차단막이(폼보드)를 사용하여 음영 효과를 시뮬레이션 하였다. 즉, 모듈을 일부분만 음영(셀 20개)을 발생시키거나 또는 모듈 전체의 음영을 그림 10과 같이 발생시켰다.

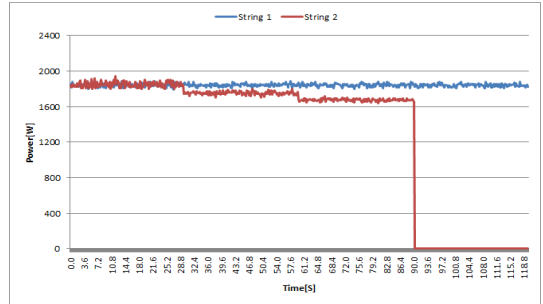


Fig. 10. Shading Experiment condition of the Photovoltaic modules

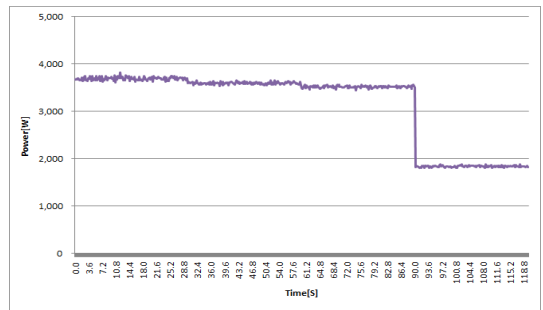
#### 4.2 기존의 방식에 대한 태양광발전 출력특성

그림 9 (a)의 2번 스트링의 모듈에 부분적인 음영(셀 20개씩)을 단계적으로 발생시킨 경우, 기존의 태양광발전 운용방식의 출력 특성을 분석하면 그림 11과 같다. 음영이 전혀 없는 경우에는 2번 스트링에 대한 인버터의

출력은 1,842[W]이고, 모듈의 1/3 부분(셀 20개)에 음영을 발생시키면 2번 스트링의 출력은 1,842[W]에서 1,755[W]로 감소하였다. 또한, 모듈 1개(셀 60개)에 음영이 발생하는 경우, 2번 스트링 출력은 1,842[W]에서 0[W]로 감소하였고, 전체 인버터 출력은 3,685[W]에서 1,842[W]로 감소하였다.



(a) Output characteristic of each string in photovoltaic system



(b) Output characteristic of inverter in photovoltaic system

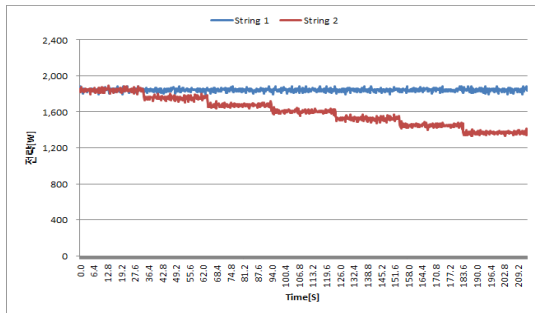
Fig. 11. Output characteristic of photovoltaic system by existing method

즉, 기존 태양광발전 운용방식에서는 부분적인 음영이 발생하기 시작하면 태양광발전의 출력효율이 저하되기 시작되고, 태양광 모듈 1개(셀 60개) 이상에서 음영이 발생하면 스트링 전체의 출력이 0[W]가 됨을 확인하였다. 이것은 스트링의 부분적인 음영이 발생하더라도 스트링의 전압이 3상 계통연계형 인버터의 동작전압범위 미만으로 되어 스트링이 인버터에서 탈락되기 때문이다. 따라서, 기존의 제어방식은 운용효율 측면에서 개선의 여지가 있음을 알 수 있었다.

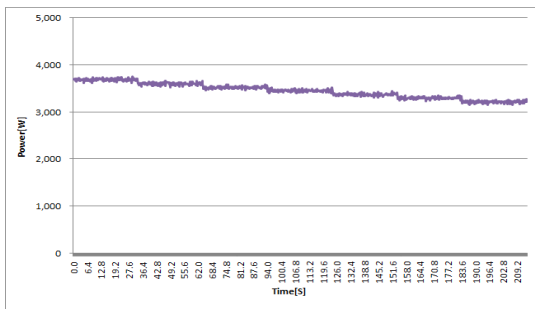
#### 4.3 제안한 방식에 대한 태양광발전 출력특성

그림 9 (b)의 2번 스트링의 모듈에 부분적인 음영(셀 20개씩)을 단계적으로 발생시킨 경우, 제안한 태양광발

전 운용방식의 출력 특성을 분석하면 그림 12와 같다. 음영이 전혀 없는 경우에는 2번 스트링에 대한 인버터 출력은 1,843[W]이고, 모듈의 1/3 부분(셀 20개)에 음영이 발생시키면 2번 스트링의 출력은 1,843[W]에서 1,769[W]로 감소하였다. 또한, 모듈 1개(셀 60개)에 음영이 발생하는 경우, 2번 스트링 출력은 1,843[W]에서 1,614[W]로 감소하였고, 전체 인버터 출력은 3,686[W]에서 3,225[W]로 감소하였다.



(a) Output characteristic of each string in photovoltaic system



(b) Output characteristic of inverter in photovoltaic system

Fig. 12. Output characteristic of photovoltaic system by proposed method

즉, 제안한 태양광발전 운용방식에서는 음영이 발생한 모듈의 출력만큼만 스트링의 출력이 감소됨을 알 수 있었다. 이것은 스트링별 DC/DC 전압 레귤레이터의 MPPT 제어와 정전압 제어에 의하여, 해당 스트링이 3상 계통연계 인버터에서 탈락되지 않기 때문이다. 따라서, 1개 모듈 전체(셀 60개)에 음영이 발생한 경우, 기존의 운용방식에서는 1,842[W]에서 0[W]로 감소하였지만, 제안한 방식에서는 1,843[W]에서 1,614[W]정도로 감소하여, 제안한 태양광발전 운용방식의 유효성을 확인하였다.

#### 4.4 운용효율 측면에서의 분석

기존의 운용방식과 제안한 운용방식에 의한 태양광발전의 운용효율 특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 모듈의 개수를 파라미터로 하여, 태양광발전의 출력특성을 분석하면 표 1과 같다.

Table 1. Operating efficiency of photovoltaic system according to control methods

		Existing	Proposed	
Without shadow	PV output	1,842[W]	1,843[W]	
	Module 1/3 ea	PV output Operating efficiency	1,755[W] 95.3[%]	1,769[W] 96.0[%]
With shadow	Module 2/3 ea	PV output Operating efficiency	1,675[W] 90.9[%]	1,688[W] 91.6[%]
	Module 1ea	PV output Operating efficiency	0[W] 0[%]	1,614[W] 87.6[%]
	Module 1 1/3 ea	PV output Operating efficiency	0[W] 0[%]	1,538[W] 83.5[%]
	Module 1 2/3 ea	PV output Operating efficiency	0[W] 0[%]	1,459[W] 79.2[%]
	Module 2ea	PV output Operating efficiency	0[W] 0[%]	1,382[W] 75.0[%]

표 1와 같이, 태양광 모듈 1개(셀 60개)에 음영이 발생한 경우, 기존의 운용방식에서는 음영이 발생하지 않는 경우에 대하여 스트링의 운용효율이 0[%]로 감소하지만, 제안한 운용방식에서는 스트링의 운용효율이 12.4[%] 정도만이 감소하였다. 또한, 태양광 모듈 2개(셀 120개)에 음영이 발생한 경우, 기존의 운용방식에서는 태양광 모듈 1개에 음영이 발생한 경우와 동일하지만, 제안한 운용방식에서는 스트링의 운용효율이 25[%] 정도가 감소하였다. 따라서, 제안한 태양광발전 운용방식이 기존의 운용방식에 비해, 상당한 폭으로 운용효율이 개선됨을 알 수 있었다.

#### 5. 결론

태양광발전은 환경변화(일사량, 온도 등)나 일부 태양



광 모듈에 음영이 발생하면, 전체 운용효율이 저하되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 기존 인버터에 스트링별로 DC/DC 전압 레귤레이터를 도입하는 방안을 제안하였으며, 이에 대한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 태양광발전에서는 어느 모듈에 음영이 발생하면, 해당 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위미만으로 낮아져 해당 스트링이 탈락되므로 태양광발전 운용효율이 상당한 폭으로 감소함을 확인하였다.
- (2) 기존의 태양광발전 운용방식의 문제점을 개선하기 위해 스트링별로 DC/DC 전압 레귤레이터를 도입하여 환경변화에 따른 전압저하로 발생하는 스트링의 탈락을 방지하는 운용방식을 제시하였고, 기존 인버터의 MPPT 제어와 정전압 제어기능을 전압 레귤레이터에서 수행하도록 구현하였다.
- (3) 기존의 운용방식에서는 어느 모듈의 음영 발생으로 인해 해당 스트링이 탈락되지만, 제안한 방식에서는 전압 레귤레이터에 의해 해당 스트링이 탈락되지 않고 음영이 발생한 모듈의 출력만큼만 스트링의 출력이 감소되므로 기존 운용방식에 비하여 태양광발전의 운용효율이 상당한 폭으로 개선됨을 확인하였다.

## References

- [1] Jung-hwa Kang "Global PV industry outlook in 2014", The Export-Import Bank of Korea <http://slidegur.com/doc/1484107/Industrial PV of the World-koreaecim>, 2014.
- [2] Takashi Oozeki, Toshiyasu Izawa, Kenji Otati, Kosuke Kurokawa, "An evaluation method of PV systems", Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 75, pp. 687-695, Feb, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(02\)00143-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00143-5)
- [3] Yong-Sik Lee, Nam-In Kim, Sung-Won Jeong, Jae-Hyeon Gim "Comparison of MPPT Control Method Characteristic for Stand-alone PV System", Transaction of KIEE, Vol. 61, No. 1, pp. 75-79, Jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.1.075>
- [4] Jung-Hyun Kim, Gwang-Seob Kim, Kyo-Beum Lee, "A Sensorless MPPT Control Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Logic for PV Battery Chargers", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 4, pp. 349-358, Aug, 2013. DOI: <https://doi.org/10.6113/TKPE.2013.18.4.349>
- [5] Donghyun Tae, Jaebum Park, Miyoung Kim, Sungsik Choi, Chanhyeok Kim, Daeseok Rho, "A Study on the Efficiency Improvement Method of Photovoltaic System Using DC-DC Voltage Regulator", Journal of the KAIS, Vol. 17, No. 7, pp. 704-712, Jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.704>
- [6] Wujong Lee, Hyunsik Jo, Hak Ju Lee, Hanju Cha, "Seamless Transfer Operation Between Grid-connected and Stand-Alone Mode in the Three-phase Inverter", Transaction of KIEE Vol. 6, No. 2, pp. 201-207, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.704>
- [7] Jeong Ku-In, Kwon Jung-Min, "Parallel operating technique for the stand alone PV PCS", Journal of The Korean Solar Energy Society Vol. 35, No. 6, pp. 9-15, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2015.35.6.009>
- [8] N. Femia, M. Fortunato, M. Vitelli, "Light- to-light: PV-Fed LED lighting systems". IEEE Transactions on power electronics. Vol. 28, No. 8, pp. 4063-4073. Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2229297>
- [9] E. Romero, G. Spagnuolo, L. Garcia, C. Ramos, T. Suntio, W. Xiao. "Grid-Connected Photovoltaic Generation Plants: Components and Operation", IEEE Industrial Electronics Magazine. Vol. 7, No. 3, pp. 6-20, Sep. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2264540>
- [10] G. Petrone, C. Ramos. "Modeling of photovoltaic fields in mismatched conditions for energy yield evaluations", Electric Power Systems Research. Vol. 81, No. 4, pp. 1003-1013, Apr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.12.008>
- [11] K. H. Kim, "Internet Management System for an Intelligent Remote Control and Monitoring", The Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication Vol. 10, No. 4, pp. 1-5, Jan. 2010.
- [12] Y. S. Hong, C. S. Kim, B.J. Yun, "A Management Method for Solar Photovoltaic Power Generation System Using Intelligence", The Journal of The Institute of Webcasting, Internet Television and Telecommunication Vol. 6, No. 2, pp. 35-41, 2006.

김 찬 혁(Chan-Hyeok Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

**최 성 식(Sung-Sik Choi)**

[정회원]



- 2010년 5월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학부(공학사)
- 2014년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, ESS

**노 대 석(Dae-Seok Rho)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

**강 민 관(Min-Kwan Kang)**

[정회원]



- 2005년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

**정 영 문(Young-Mun Jung)**

[정회원]



- 1994년 2월 : 서울과학기술대학교 전자공학과(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기전자통신공학부 전기공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석