

음영지역 발생으로 인한 태양광 발전손실 최소화를 위한 모듈부착형 전력보상기술에 관한 연구

김영백* · 송법성**

A Study on Module-based Power Compensation Technology for
Minimizing Solar Power Loss due to Shaded Area

Young-Baig Kim* · Beob-Seong Song**

요약

최근 태양광발전시장이 급격히 증가하면서 태양전지 모듈 출력 최소화를 위한 연구에 관심이 집중되고 있다. 태양광 발전에서 부정합이 발생하면 옵티마이저의 역할이 중요하다. 기존의 시스템에서는 중앙 집중형 인버터 방식과 직렬형 마이크로인버터방식을 주로 사용되고 있다. 본 논문에서는 기존의 시스템 구성방식과 부정합으로 인한 발전효율 손실 문제를 분석하였다. 또한 음영으로 인한 부정합이 발생하게 되면 이를 개선할 수 있는 모듈 부착형 전력보상방식을 제안하였다. 제안한 모듈 부착형 옵티마이저를 구현하여 기존의 운영방식과 비교, 분석한 결과 제안한 운영방식의 효율이 크게 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

Recently, as the solar power generation market is rapidly increasing, interest is focused on research for minimizing the output of the solar cell module. The role of the power optimizer is important when inconsistencies occur in photovoltaic power generation. In the conventional system, centralized inverter method and microinverter method are mainly used. In this paper, we analyze the problem of power generation efficiency loss due to the incompatibility of existing system configuration methods. We also proposed a module - type power compensation method that can improve the mismatch caused by shading. The proposed module - based power optimizer is implemented and compared with the existing operation method. From the simulation result, it was confirmed that the efficiency of the proposed operation method is improved compared to the existing method.

키워드

Solar Cell Module, Optimizer, PV String, Partial Shade, Constant Voltage Control
태양 전지 모듈, 최적화기, 태양광 스트링, 부분 음영, 정전압 제어

1. 서론

우리나라 정부는 화력과 원자력 발전소를 줄이고 2030년까지 깨끗한 재생에너지 전기를 20% 생산하는 목표를 갖고 있다. 2031년까지 적용되는 제8차 전력

수급계획서를 보면, 2030년까지 태양광 및 풍력설비를 48.6GW로 전망하고 있다[1]. 태양광 발전시스템(Photovoltaic, PV)은 태양광을 전기에너지로 변환하는 시스템으로 에너지 변환과정에서 기계적, 화학적 작용이 없고 수명이 20~30년 정도로 길어 신재생에너

* 한국폴리텍대학 광주캠퍼스(ybkim59@kopo.ac.kr)

** 교신저자 : ㈜이음아이씨티

• 접수일 : 2018. 04. 09

• 수정완료일 : 2018. 05. 12

• 게재확정일 : 2018. 06. 15

• Received : Apr. 09, 2018, Revised : May. 12, 2018, Accepted : Jun. 15, 2018

• Corresponding Author : Beob-Seong Song

IUMICT. Co., Ltd

Email : peicsong@daum.net

지 분야에서 각광받고 있다.

하지만 태양광발전시스템은 기존의 화석연료에 비해 발전단가가 높아 태양광 발전시스템의 경제성을 확보하기 위해 운영상의 손실을 개선하여 발전효율을 높일 수 있는 연구들이 필요하다. 태양광발전소가 보급되고 시장이 커질수록 20년 이상의 장기적인 운영이 가능한 태양광 발전시스템에서 운영관리에 따른 발전효율에 대한 손실은 시급히 개선해야할 문제점이다[2-3].

태양광발전 시스템 구성을 살펴보면 태양전지가 어레이 된 태양전지모듈과 태양전지 모듈에서 발생된 직류 전기를 단위 스트링별로 모으는 접속반과, 접속반에 모인 전체 직류전기를 교류전기로 변화하는 인버터로 구성되어 있다. 국내 태양광발전 시스템의 효율분석에 따르면, 인버터의 효율은 95%이상으로 성능이 우수한 반면, 모듈의 태양전지모듈의 음영 등 이상 문제로 최대출력이 되지 않아 23.5[%] 정도의 손실이 발생되고 있는 것으로 나타나고 있다[4-5].

인버터가 최대 발전효율이 발생할 수 있도록 하려면 태양전지모듈에서 인버터까지의 구성방식이 중요한데, 모듈이상으로 출력전력이 저하되더라도 옵티마이저 기술을 통해 최대 발전효율을 위한 연결방식이 필요하다[6-7]. 최적화를 위해서는 태양전지의 출력을 항상 최대로 제어할 필요가 있다[8-9].

따라서 본 논문에서는 상기의 문제점을 개선하기 위하여 기존의 운영방식과 음영 등 태양전지 모듈의 이상 발생 시 발전효율에 대해 분석하였다. 이를 토대로 태양전지 모듈에서의 낮은 출력에 대해 그 출력값을 보상하여 태양광 발전시스템 운영 및 관리 측면에서 최대효율을 구현할 수 있는 모듈 부착형 옵티마이저 기술을 제안하였다. 구현된 장치로 실험한 결과 기존의 전력보상 방식보다 효율이 약 9%이상 향상됨을 확인하였다.

II. 기존의 전력계통연계 분석

2.1 중앙 집중형 방식

기존의 태양광 발전시스템은 설치비용을 절감하기 위해 여러 개의 태양전지 패널을 하나의 인버터로 연결하는 중앙 집중형 스트링 인버터 방식이 차지하고

있다. 이런 구성은 초기 비용이 저렴하지만, 직렬과 병렬로 연결 구성되는 태양광발전 시스템의 특성상 출력이 가장 낮은 태양전지모듈의 영향을 받게 되어, 모듈이 출력이 낮아지게 되면 태양광 발전시스템의 전체적인 효율을 저하시키는 원인 중에 하나이다.

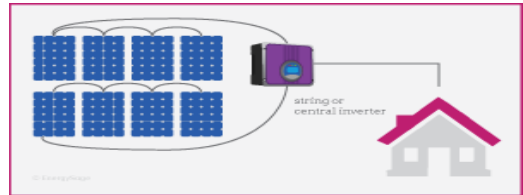


그림 1. 중앙 집중형 인버터 구성방식
Fig. 1 Central inverter system configuration

2.2 스트링형 방식

최근 태양전지 모듈 하나당 한 개의 인버터가 설치되는 새로운 소형 인버터 방식이 등장하였는데, 마이크로인버터이다.

마이크로인버터는 어레이(array) 전체에서 모아진 전기를 DC에서 AC로 전환하는 중앙집중식이 아닌 개별 모듈에서 각각의 인버터를 설치해 모듈 단위로 직류를 교류로 전환하는 분산 시스템이다[10]. 음영으로 인한 효율저하 발생시에도 최적의 발전효율을 낼 수 있다는 장점이 있지만 스트링 인버터 방식이 비하여 약 30%정도 높은 초기비용이 발생하게 된다. 그리고 기 구축되어 운영중인 발전소에는 전체를 교체하는 작업 필요하기에 적용하기 어려움이 있어 대용량보다는 소용량에 대해 장점이 있다.

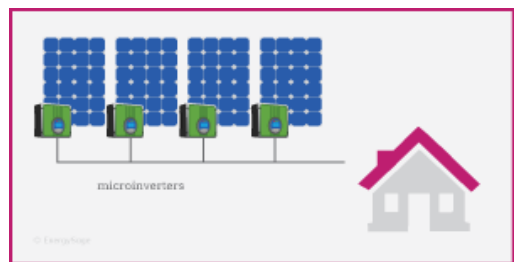


그림 2. 스트링형(마이크로인버터) 구성방식
Fig. 2 String microinverter configuration

III. 모듈 부착형 전력보상장치 제안 및 구현

3.1 태양광 음영지역 발생 사례 분석

태양광 발전시스템에서 어레이 부근의 인접건물이 존재하거나, 나무, 나뭇잎 등의 음영의 발생원인은 다양하다.



그림 3. 태양광 음영발생 사례
Fig. 3 Examples of sun shading

3.1.1 옵티마이저 제어 알고리즘

태양광 구조물 외부의 인접건물이나, 나무로 인하여 일부 태양광 모듈에 음영발생시 출력 저하로 인한 발전효율이 저하되는 문제점을 개선하기 위하여 각 태양전지모듈에서의 출력 값을 체크하여 낮은 출력값을 갖는 태양전지모듈 측 출력 값에 대해 벅부스트 스위칭 전환과 임피던스 매칭을 집중하여 출력을 보상을 위한 알고리즘을 연구하였다.

음영발생시 태양전지의 최대전력점이 변동하게 되므로 최대 전력점을 얻기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 적용하였다.

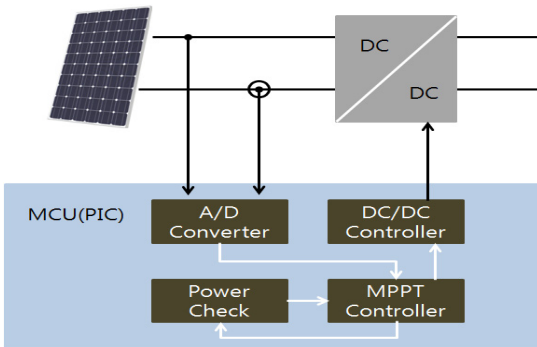


그림 4. 최대전력점 추적 구성도
Fig. 4 Maximum power point tracking configuration

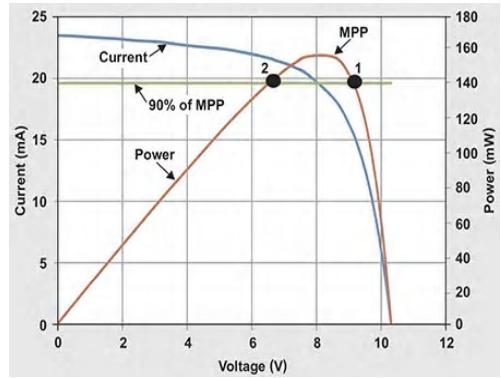


그림 5. 최대전력점 추적 알고리즘
Fig. 5 Maximum power point tracking algorithm

태양전지 모듈에 음영 발생시 해당 스트링에서는 전압출력이 낮아지므로 인버터가 최대 효율을 달성하기가 어렵다. 그래서 PV 어레이의 개방회로 전압을 특정주파수에서 정상동작시 시스템을 개방하여 측정하고 기준전압을 개방전압의 80%수준으로 결정하여 MPPT를 추적하는 방식을 제안하였다. 시스템이 자주 개방되면 심각한 전자 노이즈가 발생할 수 있고, 컨버터와 제어장치에 대한 안전을 고려해야 한다.

상기 조건을 만족하기 위한 MPPT 기법은 다음과 같이 제안하고자 한다. MPPT알고리즘은 입력측에 전압과 전류센서를 내장하여 발전전력을 산출하고 전력 변화율의 가감속 상태조건에 따라 MPPT를 추종하도록 하는 Incremental Conductance method를 적용하여 전압과 전류를 제어하고자 한다.

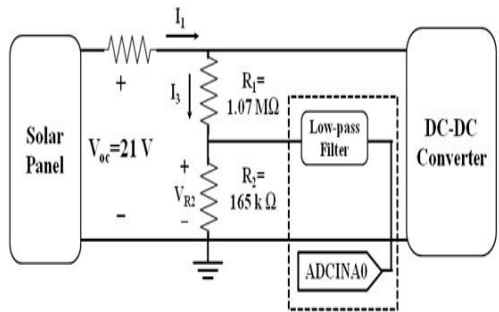


그림 6. 전압감지회로
Fig. 6 Voltage sensing

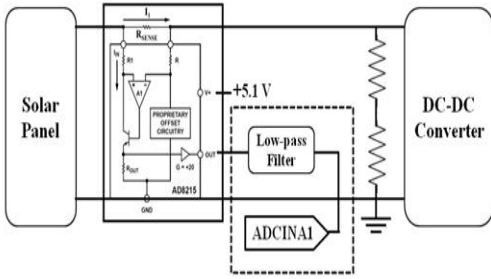


그림 7. 전류감지회로
Fig. 7 Current sensing

3.2 모듈부착형 옵티마이저 구현

태양광 모듈부착형 옵티마이저는 아래 그림과 같이 구성하였다. MPPT 제어와 정전압 제어 알고리즘은 Atmega 기반 MCU로 구현하였다.

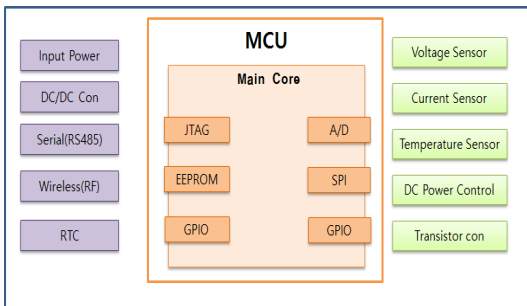


그림 8. 모듈 부착형 옵티마이저 제어부
Fig. 8 Module mounted power control configuration

노이즈에 강한 데이터 통신 유무선 회로(RS-485, 근거리 무선통신)를 적용하여 문제점 발생시 위치를 추적 및 알림기능을 통해 운영상의 효율을 높였다.

PV 개발전압 또는 이상 시 발생하는 켄지 전압에 대한 보호회로를 개방전압의 2~3배로 설정, 승강압 전력변환회로 구성하였는데, Interleaved Flyback DC/DC 컨버터를 이용한 최대 전력충전장치 설계, PV 입력단의 전압과 전류센서를 이용하여 설정값 이하인 조건에서는 승압으로 전력변환하고 기준값 이상인 조건에서는 강압으로 전력 변환하는 승강압 전력 회로 설계하였다.

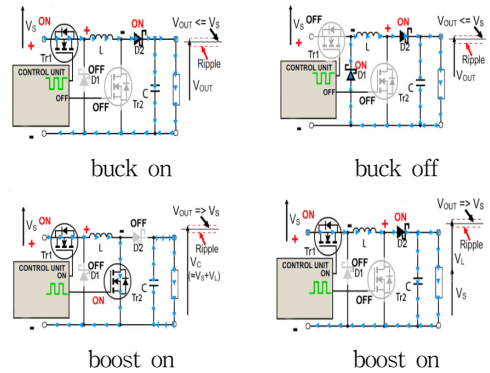


그림 9. 전력 승/강압 회로설계
Fig. 9 Power buck-boost convert circuit design

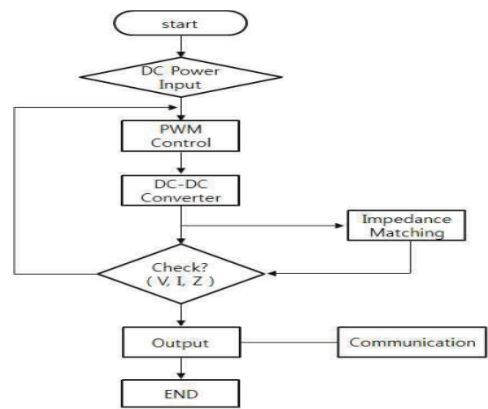


그림 10. 출력 옵티마이저 동작흐름도
Fig. 10 optimizer flow chart

태양광발전지모듈에서 태양광 출력이 발생되기 시작하면 각 옵티마이저는 태양광 출력에대해 펄스폭 변조 제어를 먼저 수행하고, 이어 상기 펄스폭 변조 제어된 각 태양발전지모듈의 출력신호에 대해 벅부스트 스위칭 전환을 통해 전류모드를 제한한다. 출력신호의 전압과 전류 및 임피던스를 체크하여 동기화된 출력인지 비교 판단하고 서로 동기화된 출력이 아니면 임피던스 매칭을 통해 낮은 출력신호 측 부하를 높여 보상하여 줌으로써 비교되는 대상의 높은 출력에 맞춰 동기화 처리를 함으로써 태양광 발전시스템이 음영 발생시에도 최대효율을 이끌어낼 수 있다.

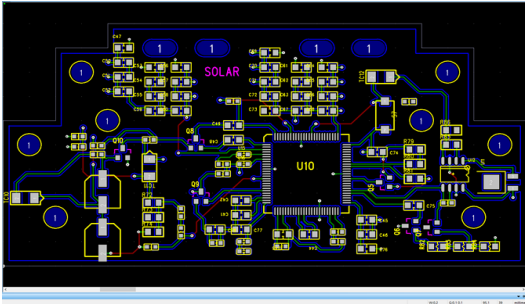


그림 11. 모듈부착형 옵티마이저 PCB Layout
Fig. 11 Module mounted power optimizer PCB layout



그림 12. 모듈부착형 옵티마이저
Fig. 12 Module mounted power optimizer

IV. 모듈부착형 옵티마이저의 시험분석

4.1 성능시험 조건

모듈부착형 옵티마이저의 성능실험을 위한 실험 구성도는 아래와 같다.

- 태양광 모듈사양 : Q.PLUS L-G4.1 340
- 태양광 인버터 사양 : PVES-003(3.0KW)

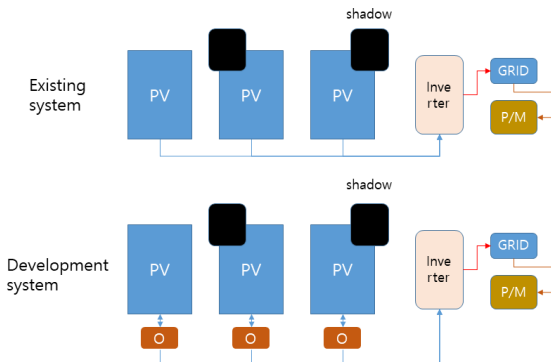


그림 13. 테스트 구성도
Fig. 13 Test Configuration



그림 14. 테스트베드 구성
Fig. 14. Build a test bed

옵티마이저를 적용여부에 따라 출력특성을 비교하기 위하여 340[W]급 모듈을 2개를 직렬로 연결하여 각각 700[W]급으로 구성하였다.

4.2 성능시험 결과

시간대(오후 2 ~ 6시)별로 태양전지모듈에 태양광 옵티마이저를 적용한 것과 적용하지 않은 시스템에 대해 출력 특성을 분석하면 아래 그림과 같다. 음영으로 발전의 영향을 받은 모듈에 비하여 모듈부착형 옵티마이저가 적용된 모듈의 경우는 약 9%정도 효율개선이 되었음을 확인할 수 있었다.

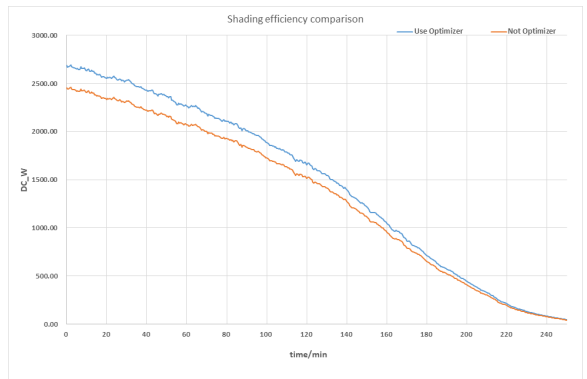


그림 15. 실험 결과
Fig. 15 Experiment result

V. 결론

본 논문에서는 태양광발전시 음영 등의 문제로 인해 발전효율이 저하되는 원인을 분석하고 기존의 방식들을 비교분석하였다.

기존 중앙 집중식 태양광발전시스템은 다수의 모듈이 하나의 인버터에 연결됨으로써 특정 모듈 고장시 그 위치와 문제점을 즉시 확인할 수 없어 발전량 손실이 발생하였고, 발전량 손실을 최소화하기 위해 마이크로인버터가 조명되고 있지만 기존설치 모듈에 일부만 교체가 불가능하고, 전부를 교체 했을 때에는 비용이 너무 많이 들기 때문에 현실적으로 시장적용에 어려움이 있다.

본 논문에서 제안한 기술은 모듈 두 개를 하나의 옵티마이저 장치로 접속하여 실시간으로 문제점을 점검하여 DC 전압 라인에서 최대효율을 높일 수 있는 방식으로 기존 태양광 설치 모듈뿐만 아니라 새로운 설치 공간에도 사용가능하며, 비용절감 효과와 발전량 손실 최소화가 가능한 방안으로 향후 도심 태양광, 주택 태양광 보급에서도 효율 및 운영적 측면에서 적용가능함을 확인하였다.

References

- [1] S. Lee, C. Moon, Y. Chang, and M. Jung, "A study on Design of Capacity for Landing and Floating Solar Power Plant: The Case of Chonnam Province in Korea," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 1, Feb. 2018, pp. 35-44.
- [2] J. Ko and D. Kim, "Reconfiguration of PV Module Considering the Shadow Influence of Photovoltaic System," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 27, no. 2, Feb. 2013, pp. 36-44.
- [3] H. Seo, M. Son, K. Lee, J. Kim, J. Hong, and H. Kim, "A study on the Improvement of the Efficiency of Dye- sensitized Solar Cell using the Laser Scribing and the Grid Electrode," *Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 57, no. 10, Sept. 2008, pp. 1802-1806.
- [4] T. Oozeki, T. Izawa, K. Otati, and K. Kurokawa, "An evaluation method of PV systems," *J. of the Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 75, no. 3, Feb. 2003, pp. 687-695.
- [5] C. Kim, S. Choi, M. Kang, Y. Jung, and D. Rho, "Implementation and Characteristic Analysis of DC/DC Voltage Regulator for Operation Efficiency Improvement in PV system," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 4, Apr. 2017, pp. 201-208.
- [6] K. Park, J. Choi, and D. Chung, "A Novel PV Tracking System Control Considering the Power Loss with Change of Insolation," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 22, no. 6, June. 2008, pp. 89-99.
- [7] J. Ko, J. Choi, C. Jung, D. Kim, B. Kim, Y. Jun, and D. Chung, "Development of shadow compensation algorithm for efficiency improvement of photovoltaic tracking system," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Conf. 2008*, Hoengseong County, Republic of Korea, May. 2008, pp. 411-414.
- [8] H. Kim, H. Yoo, Y. Lee, H. Jung, and Y. Ko, "A study on the SPWM based Power Conversion Technology of the Three-Phase Photovoltaic Inverter Using DSP," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, Dec. 2017, pp. 1099-1106.
- [9] Y. Ko, "A Study on the Voltage Control of a Single Phase Full-bridge Inverter using SPWM Driving Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 5, Oct. 2017, pp. 851-858.
- [10] S. LEE, J. Kwon, and B. Kwon "Bi-directional Photovoltaic Inverter with High Efficiency and Low Nois," *Trans. of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 17, no. 6, Dec. 2012, pp. 539-545.

저자 소개



김영백(Young-Baig Kim)

1996년 광주대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2000년 전남대학교 산업대학원 전기공학 졸업(공학석사)

2013년 순천대학교 전자공학 졸업(공학박사)

현 한국폴리텍대학 광주캠퍼스 전기과 교수

※ 관심분야 : 전기제어, 무선통신, RTLS, USN



송법성(Beob-Seong Song)

2005년 순천대학교 전자학과 졸업(공학사)

2007년 순천대학교 대학원 전자학과 졸업(공학석사)

2015년 순천대학교 전자공학 박사수료

2007년~2012년 : (재)광양만권u-IT연구소 연구원

2012년~2016년 : (주)티이에프 연구소장

2017년~현재 : (주)이음아이씨티 대표이사

※ 관심분야 : ICT융합, 임베디드, 무선통신

