

## 계통연계형 멀티스트링 3상 3레벨 태양광 인버터의 MPPT 제어방법에 관한 연구

김진수\* · 양 오†

\*청주대학교 전자공학과, †청주대학교 반도체공학과

### A Study on the MPPT Control Method for Grid-connected Multi-String Three-Phase Three-Level PV Inverter

Jinsoo Kim\* and Oh Yang†

\*Electronic Engineering of Cheong-ju University

†Semiconductor Engineering of Cheong-ju University

#### Abstract

Two-level inverter has some disadvantages like high harmonics contained in the output current, efficiency limit and stress to switching device as IGBT and FET. Many researches have reported multi-level inverter to complement two-level inverter of problems. In this paper, we suggest MPPT algorithm of multi-string three-level solar inverter that considered nowadays. We added midpoint controller in order to implement the MPPT algorithm because the three-level inverter has to need midpoint controller and procured the stability of direct current link. We verify the superiority of multi-string T-Type inverter and the algorithm we suggested with solar irradiance variation experiment and MPPT efficiency measurement. The MPPT efficiency was confirmed with a high efficiency more than 99.97%.

**Key Words** : Grid-Connected, Multi-String PCS, T-Type Inverter, 3-Level PCS, Maximum power point tracking, Photovoltaic power system, P&O Algorithm

## 1. 서 론

오늘날 환경오염과 화석연료의 고갈로 인한 대체 에너지에 관한 연구가 끊임없이 이루어지고 있다. 태양광 발전에서 생산된 전력은 전력 계통과 연계하여 에너지를 보다 효율적으로 운영하고 수용가 입장에서 안정적인 기 때문에 계통연계형 태양광 인버터 기술에 대한 관심이 많아지고 있다. 태양광 인버터는 에너지의 원천인 태양에너지로부터 높은 발전 효율을 끌어내기 위한 기술이 필수적이다[1].

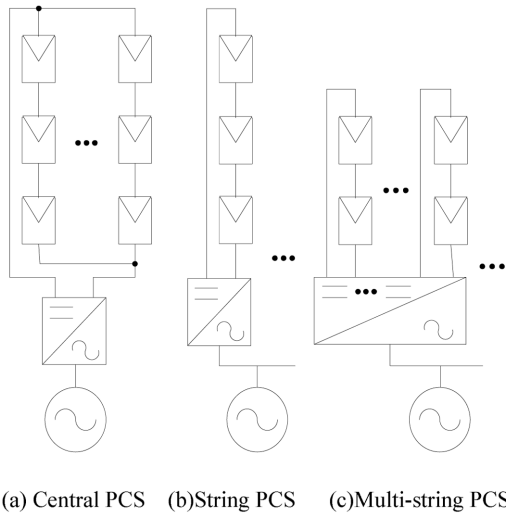
태양전지의 발생전력은 일사량, 동작전압, 동작온도 등에 따라 동작특성과 최대 출력점도 변하게 된다. 따라서 태양에너지로부터 많은 에너지를 끌어내어 효율을 증대시켜야 하는데, 온도나 일사량과 같은 환경적

요인과 운전 상태에 따라 변화하는 태양전지의 출력을 고려하여 항상 최대 전력점에서 동작 할 수 있도록 태양전지의 동작점을 제어하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어기술이 필수적이다[2].

PV PCS (Photovoltaic Power Conditioning System)는 현재 여러 방면으로 많은 토폴로지와 새로운 기술들이 제시되고 있다. 기존의 3상 2레벨 태양광 인버터는 간단한 구성과 이미 검증된 제어 및 PWM 기법을 이용하여 구현이 용이하다. 하지만 2레벨 인버터는 출력전압에 높은 고조파 함유, 효율적 한계, 스위치소자(IGBT, FET)에 많은 스트레스라는 단점이 존재한다. 3레벨 인버터 중 T-타입 3레벨 인버터는 구조적인 특징으로 인해 기존의 3레벨 인버터보다 도통 손실이 낮아, 태양광 발전 시스템에 연구 및 적용이 되고 있다[3,4].

본 논문에서는 최근 각광받고 있는 멀티스트링 방식의 T-타입 3레벨 태양광 인버터의 MPPT 제어방법에

†E-mail : ohyang@cju.ac.kr



(a) Central PCS (b)String PCS (c)Multi-string PCS  
**Fig. 1.** Kind of PV PCS.

대한 알고리즘을 구현하고 실험을 통하여 이를 검증하고자 한다.

## 2. 멀티스트링 태양광 인버터

센트럴 PCS는 Fig. 1(a)과 같이 많은 양의 태양전지가 직병렬로 연결되어 있다. 대용량 설비는 가능하나 직렬로 연결된 태양전지가 병렬로 연결되면서 발생하는 전압 불균형 문제 등이 있다. 각각의 태양전지에서 최대전력점을 추종하는데 어려움이 있어 항상 최고의 효율성을 유지할 수 없고, 태양전지와 인버터 사이에 고전압의 직류 케이블의 요구, 스트링 다이오드의 손실

발생, 추가 용량 확장이 불가능한 단점이 존재한다.

태양전지가 직렬로 연결된 것을 스트링이라고 한다. 현재 가장 보편화된 방식으로 Fig. 1(b)과 같이 PCS에 1개의 스트링이 연결되는 구조이다. 태양전지의 스트링이 병렬로 연결되지 않아 병렬로 연결 시 발생하는 문제점이 없다. 또한 센트럴 PCS에 비해 부분적으로 그림자에 가릴 때 발생하는 문제도 완화된다. 각 스트링의 개별적인 MPPT 동작이 가능하여 항상 최고의 효율성을 유지할 수 있다.

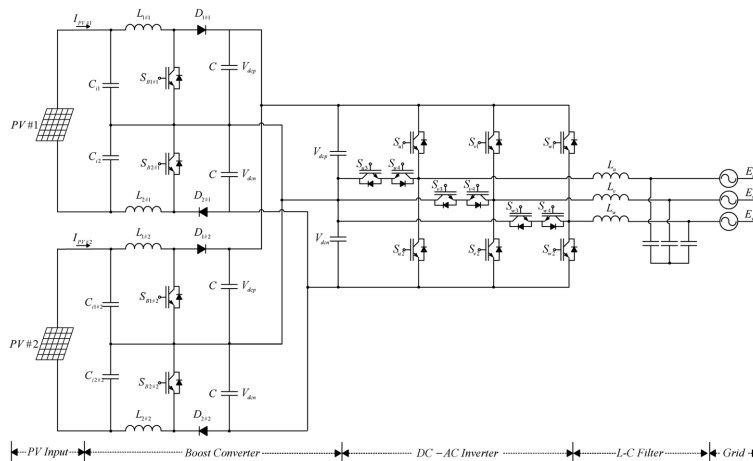
추후 지향 모델로서 점차 활용되고 있는 방식으로 Fig. 1(c)의 멀티스트링 PCS가 있다. 멀티스트링 PCS는 스트링을 원하는 만큼 늘릴 수 있어 정격 전력의 제한이 없으며, 태양전지를 병렬연결 하지 않아 태양전지 간 전압 불균형 문제도 없다. 각각의 스트링마다 독립적으로 MPPT 제어를 통해 일부 태양전지가 부분적으로 그림자가 가려도 항상 최대 전력을 출력할 수 있다[4].

## 3. 멀티스트링 T-타입 3레벨 태양광 인버터

### 3.1. 3상 3레벨 T-타입 인버터의 회로구성

태양광 발전 시스템의 PCS는 현재 여러 방법으로 많은 토폴로지와 새로운 기술들이 제시되고 있다. 저주파 변압기 방식, 고주파링크 방식, 무변압기 방식 등이 주로 이용되고 있으며 각각의 토폴로지는 장단점을 가지고 있지만 본 논문에서는 저주파 변압기 방식을 사용하지 않고 고효율, 소형, 경량화에 유리한 특징을 가지는 무변압기 방식의 토폴로지를 이용하여 시스템을 구성하였다.

멀티스트링 T-타입 3레벨 태양광 인버터는 Fig. 2와



**Fig. 2.** Two-string T-Type PV PCS.

**Table 1.** Switching patterns for T-Type Inverter.

State	$V_{out}$	$S_{m1}$	$S_{m2}$	$S_{m3}$	$S_{m3}$
P	$+V_{dcp}$	ON	OFF	ON	OFF
0	0	OFF	OFF	ON	ON
N	$V_{dcn}$	OFF	ON	OFF	ON

같이 2개의 3레벨 부스트 컨버터와 1개의 T-Type 삼상 인버터로 구성하였다[5].

3레벨 부스트 컨버터 구현을 위해 스위칭 소자가 2개 들어간 부스트 컨버터를 구성하였다. 기존의 부스트 컨버터와 비교하면 전압이득이 2배로 증가하고, 스위치 소자와 다이오드에 걸리는 전압이 반으로 감소한다는 장점이 있다. 또한 중성점 제어를 통한 P상태와 N상태의 전압을 동일하게 유지할 수 있다는 장점이 있어 인버터 출력전류에 영향을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다[6,7].

3상 3레벨 T-타입 인버터는 각각의 상마다 4개의 IGBT로 구성되며 총 12개의 IGBT로 구성되며, Table 1은 3상을 만들기 위한 T-타입 인버터의 스위칭 패턴의 상태를 보여준다. 즉, T-타입 인버터는 기존 2레벨 인버터에 비해서 전력 스위치(IGBT)가 6개 증가하지만, 3레벨 인버터중 일반적으로 사용되던 다이오드 클램프 인버터에 비해서는 다이오드를 6개 줄일 수 있는 구조이다[8,9].

### 3.2. 제한한 멀티스트링 MPPT 제어 알고리즘

계통연계형 태양광 인버터는 비선형적인 전류특성을 갖는 태양전지 어레이의 최대 유효전력을 유지하기 위

해 최대 전력점 추종(Maximum Power Point Tracking) 제어가 필요하다. 최대 전력점 추종이 정상적으로 이루어지지 않을 경우 출력전류도 불안정해 지고 전력품질 저하가 일어날 수 있다[10].

최대 전력점 추종 방식에는 부스트 컨버터의 펄스폭을 변화시키는 방식과 제어기를 통해 일정 직류링크 전압을 유지시키고 출력전압을 가변하는 방식이 있다. 제안한 멀티스트링 최대 전력점 추종 알고리즘은 부스트 컨버터의 펄스폭을 변동하여 직류링크의 변화량에 비례하여 출력전류도 변화하게 설계되었다. 멀티스트링 최대 전력점 추종 방식이기 때문에 각 태양전지 스트링마다 독립적으로 최대 전력점 제어가 이루어지므로 일부 태양전지의 출력 전력이 낮을 때 발생하는 문제도 완화된다[11].

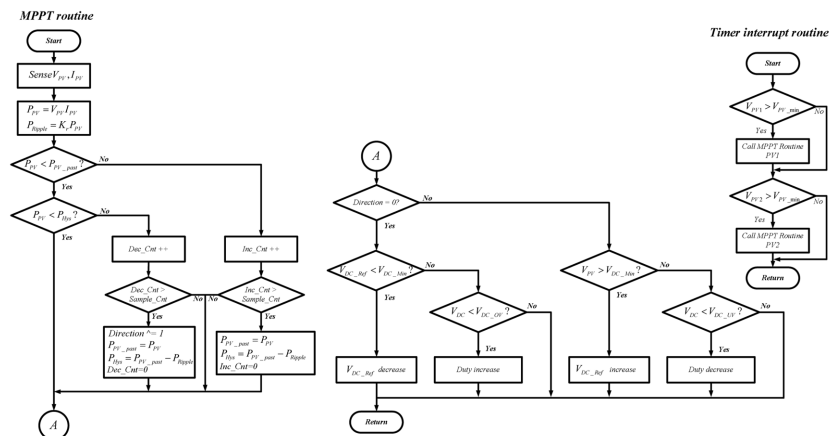
MPPT 알고리즘을 수행하기에 전에 타이머 인터럽트에서 PV1과 PV2가 인버터동작조건 전압 이상인지 확인하고 정상인 PV는 MPPT 알고리즘을 수행하게 된다.

현재 태양전지의 전력과 과거 태양전지의 전력을 비교하여 부스트 컨버터의 펄스폭을 증가, 감소하고 직류링크 기준전압( $V_{dc\_ref}$ )을 증가, 감소한다.

$$P_{Ripple} = K_r \times P_{PV} \quad (\text{단, } 0 < K_r < 1) \quad (1)$$

$$P_{Hys} = P_{MAX} - P_{Ripple} \quad (2)$$

인버터의 동작에 따른 심한 노이즈로 인해 태양전지의 전압, 전류를 정확하게 계측하기 어렵다. 계측된 전압 전류를 이용하여 태양전지의 출력전력을 구할 수 있다. 출력전력에 리플이득( $K_r$ )을 곱하여 전력리플( $P_{Ri}$

**Fig. 3.** Flowchart of Multi-string MPPT algorithm.

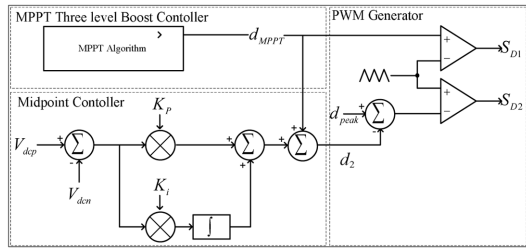


Fig. 4. DC-Link voltage balancing controller for MPPT.

pple)을 구할 수 있고, 식(1)에서 보여주고 있다. 리플전력은 리플이득( $K_r$ )값에 따라 결정되고, 리플이득( $K_r$ )이 크면 효율이 떨어지고 너무 작으면 최대전력점을 찾을 수 없게 된다.

방향(Direction)은 최대 전력점의 추종의 동작방향을 나타낸다. 현재 전력과 과거의 전력을 비교하여 현재전력이 낮고, 감소 카운트가 Sample\_Cnt이상일 때 방향이 바뀌게 된다[11].

3레벨 인버터는 직류링크  $V_{DCP}$ 와  $V_{DCN}$ 을 항상 평형을 맞추기 중성점 제어가 필요하다. 중성점 제어가 정상적으로 이루어지지 않을 경우 출력전류에 영향을 끼칠 수 있다. 중성점 제어방법에는 출력전류제어에 중성점을 추가하여 제어하는 방식과 본 논문에서 소개하는 2개의 스위치소자를 이용해서 부스트 컨버터를 제어하는 방법이 있다. MPPT알고리즘에서 출력된  $d_{MPPPT}$ 는  $S_{B1}$ 의 스위치소자에 입력되고, 중성점 제어기는  $V_{DCP}$ 와  $V_{DCN}$ 의 차를 비례적분기 제어기를 이용하여  $S_{B2}$ 에 입력된다. 이렇게 제어된다면 항상  $V_{DCP}$ 와  $V_{DCN}$ 은 같은 전압을 유지되고 MPPT알고리즘도 정상적으로 제어된다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

제안된 알고리즘을 평가하기 위하여 멀티스트링 태양광 인버터의 실험을 위한 태양전지를 대신하여 태양광 시뮬레이터인 레가트론사의 TopCon Quadro 2대와 태양광 시뮬레이터 프로그램 SasControl을 사용하였다. Fig. 5는 Fig. 2에 세 제시한 계통연계형 3상 멀티스트링 3-레벨 T-타입 인버터에 대한 프로토타입이다. 또한 인버터와 부스트 컨버터 및 프로세서와 AD변환기 등에 대한 자세한 사양은 표 2에 나타내었다.

Fig. 6은 제안된 2스트링 MPPT알고리즘을 이용하여 전력계통과 연계하여 PV1은 5kW로 발전하던 도중 PV2의 5kW를 입력했을 때의 추종하는 과정을 나타낸 파형이다.

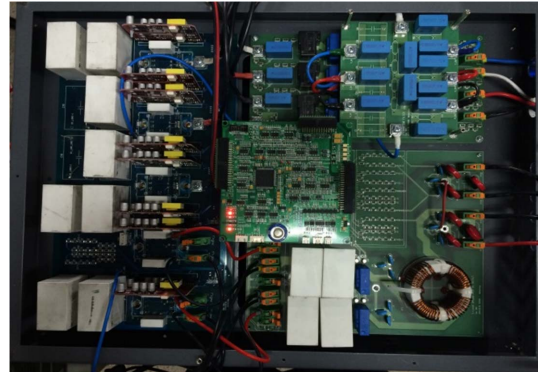


Fig. 5. Prototype of Two-String T-Type PV Inverter.

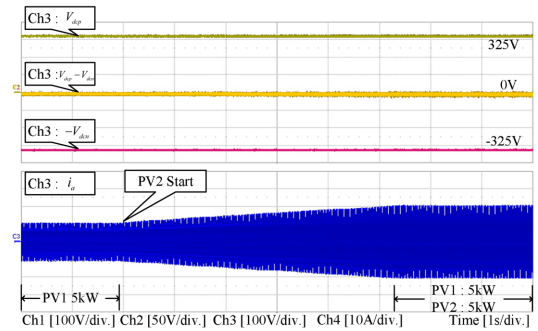


Fig. 6. Two-string MPPT result at PV2 on.

Table 2. Parameter of Two-String T-Type PV Inverter.

인버터	용량	10kW
	계통	3상 380 V/60 Hz
	출력 인덕터	3 mH
부스트 컨버터	입력 인덕터	1.5 mH
Processor	DSP	K60FX512VLQ15
	시스템 클럭	150 MHz
A/D Converter	분해능	16bit
	주기	66.67us
PWM	스위칭 주파수	15kHz
	Dead Time	2us

PV1에는 5 kW발전을 유지하면서 PV2의 일사량을 변화하면서 관찰한 파형을 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7에서는 PV2를 20%인 1 kW에서 5 kW인 10 kW로 약 0.5초 동안 일사량을 급변하였을 때의 변화하는 파형이고 반대로 Fig. 8에서는 PV2를 100%인 10 kW에서 0.5초동안 20%인 1 kW로 0.5초동안 일사량을 급변하였을 때의 파형이다. 두 개의 파형 모두 정

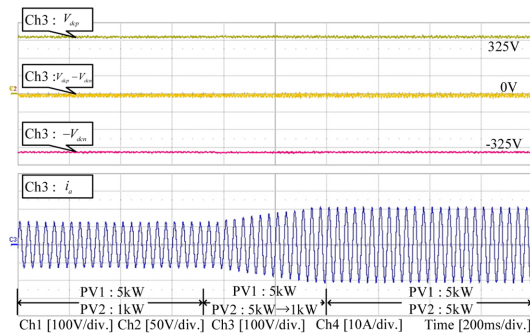


Fig. 7. Waveform of PV irradiance fluctuation experiment changed from 1 kW to 5 kW.

상적으로 일사량이 변화하였을 때에도 직류링크의 전압이 10V 이내로 안정적으로 제어됨을 볼 수 있었다. 또한 출력전류도 안정적으로 제어되는 것을 확인하였고, MPPT효율은 약 99.97% 이상으로 높은 효율을 보여주었다.

## 5. 결 론

2레벨 인버터는 출력전압에 높은 고조파 함유, 효율적 한계와 IGBT나 FET와 같은 스위치소자에 많은 스트레스를 주는 단점이 존재한다. 이를 보완하기 위하여 멀티스트링 멀티레벨 인버터에 대한 관심이 많아지고 있다. 본 논문에서는 최근 각광받고 있는 멀티스트링 3레벨 태양광 인버터의 MPPT알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 멀티스트링 MPPT알고리즘을 이용하여 최대전력점을 추종할 경우 한쪽 스트링의 일사량이 낮을 경우에도 모든 스트링이 항상 최대전력점에서 안정적으로 발전할 수 있음을 확인하였다. 또한 3레벨 태양광 인버터에서는 중성점 제어가 필수적인데 일사량 변동 실험에서도 중성점 전압의 변동폭이 -10V에서 +10V로 변동되어 안정적인 중성점 전압제어가 이루어짐을 실험을 통해 확인하였다. 아울러 MPPT효율은 약 99.97% 이상으로 높은 효율을 보여 본 논문에서 제안한 3레벨 MPPT 제어방법의 우수성을 확인하였다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

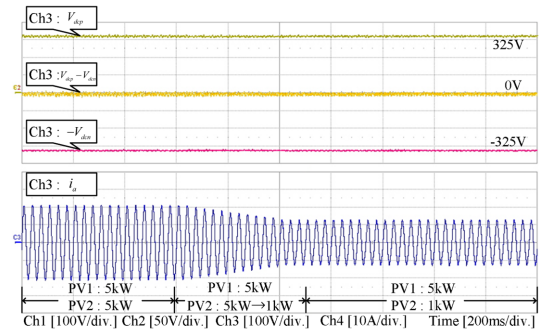


Fig. 8. Waveform of PV irradiance fluctuation experiment changed from 5 kW to 1 kW.

## 참고문헌

1. J.P. Lyons and V. Vlatkovic, "Power Electronics and Alternative Energy Generation", Proceedings of PESC 04, pp.16-21, 2004.
2. Kaura and V.Blasko, "Operation of Phase Loop System Under Distorted Utility Conditions", IEEE Trans. Industry Applications, Vol.33, No.1, pp.58-63, 1997.
3. Floricaud, D., E. Floricaud, and G. Gateau. "Three-level SNPC commutation cell: features and control." Industrial Electronics, ISIE 2008, pp. 44-49, 2008.
4. Jungmin Kwon, Eungho Kim, Kwanghee Nam, Bonghwan Kwon, "Photovoltaic Multi-string PCS with a Grid-connection", Journal of The Korean Society for New and Renewable Energy, vol.3, No.4, pp.69-76, 2007.
5. Kevork Haddad, "Three Level DC-DC Converters as Efficient Interface in Two Stage PV Power System", IEEE Energy Tech. , 2012 IEEE, pp.1-6, 2012.
6. Su-Han Kim, Hon-Nyong Cha, Heung-Geun Kim, Byung-Cho Choi, "An Improved Non-Isolated 3-Level High Step-Up Boost Converter", The journal of the Korean Institute of Power Electronics, Vol.18, No.4, pp.342-348, 2013.
7. Schweizer, Mario, and Johann W. Kolar. "Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-Type Converter for Low-Voltage Applications." Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol.28, No.2, pp.899-907, 2013.
8. Hojon Shin, Jung-Ik Ha, Han-Sol Seo, and Young-Jae Park, "Los Analysis of T-type 3-level Inverter", 2012 Korea Power Electronics Annual Conference, pp.54-55, 2012.
9. Bayasgalan, Ji-Su Ryu, Sang-Ho Lee, "Study on T-Type Multi Level Inverter for UIPV System", 2012 Korea Power Electronics Annual Conference,

- 
- pp.313-314, 2012.
10. Seungkyu Ock, Oh Yang, "A Study on the New MPPT Control Method for Grid-connected PV Generation System", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.10, No.2, pp.28-35, 2012.
11. Uiseon Hwang, Moonsung Kang, Oh Yang, "A Study on the New Maximum Power Point Tracking and Current Ripple Reduction of Solar Cell for the Grid-connected PV Inverter", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.17, No5, pp.1187-1195, 2013.
- 
- 접수일: 2014년 11월 28일, 심사일: 2014년 12월 12일,  
게재확정일: 2014년 12월 22일