

# 계통연계형 태양광 발전 시스템의 저차 고조파 저감 기법

윤재승, 김광섭, 이교범  
아주대학교

## A Reduction Technique of Low Order Harmonics for a Grid-Connected PV PCS

JaeSeung Yoon, Gwang Seob Kim, and Kyo Beum Lee  
Ajou University

### ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 발전 시스템에서 발생하는 저차 고조파를 저감하는 기법을 제안한다. 태양광 발전 시스템에 포함된 단상 인버터는 기본파의 2배 주파수를 가지는 2차 고조파를 만들어낸다. 이 저차 고조파는 컨버터 전류의 리플로 작용하여 태양전지의 출력을 최대로 높이는 최대전력점 추종기법의 효율을 저감시킨다. 본 논문에서는 계통연계형 태양광 발전 시스템에서 발생하는 저차 고조파를 분석한다. 그리고 추가적인 하드웨어 소자 없이 비례공진 제어를 사용한 새로운 전향보상 성분을 통해 효과적으로 제거한다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 바탕으로 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

최근 화석에너지의 고갈에 대한 대체에너지로 태양광 발전 시스템이 각광을 받고 있다. 태양광은 공해가 없고, 안전하며 풍부한 자원이다. 이 밖에도 간단한 제어, 상대적으로 적은 투자비용, 고효율 운전과 같은 이점으로 풍력과 더불어 계통연계형 전력발전의 중심을 이룬다. 계통연계형 태양광 발전 시스템은 태양전지로부터 얻은 에너지를 높은 효율로 전력 계통에 전달한다. 이러한 계통연계형 발전 시스템이 전력 계통과 연계되어 운전하기 위해서는 다른 수용가 및 전력 계통에 영향을 주지 않도록 고조파 왜곡보상, 역률 개선 등과 같은 계통연계 기준을 만족해야 한다.

태양광 발전 시스템을 구성하는 단상 인버터는 구조적으로 2차 고조파가 발생한다. 이 고조파는 파형을 왜곡하여 컨버터 전류의 리플로 나타난다. 종래의 방법으로는 스위치나 커패시터, 인덕터와 같은 추가적인 소자들을 사용하여 저차 고조파를 저감하였다<sup>[1]</sup>. 하지만 이러한 방법은 특정 주파수 저감을 위한 하드웨어 설계가 필요하므로 경제적으로 많은 비용이 든다.

본 논문에서는 기존의 전류제어기에 고조파 제거를 위한 전향보상 성분을 추가함으로써 추가적인 비용이 들지 않고 저차 고조파를 효과적으로 저감할 수 있다. 제안된 알고리즘은 계통연계형 태양광 발전 시스템을 모의한 시뮬레이션을 바탕으로 타당성을 검증한다.

## 2. 태양광 발전 시스템의 저차 고조파 저감 기법

### 2.1 태양광 발전 시스템

계통연계형 태양광 발전 시스템은 그림 1과 같다.

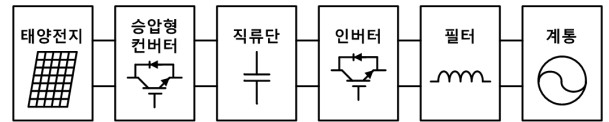


그림 1 계통연계형 태양광 발전 시스템  
Fig. 1 A grid-connected PV PCS

태양광 발전 시스템에 포함된 단상 인버터는 그림 2와 같다.

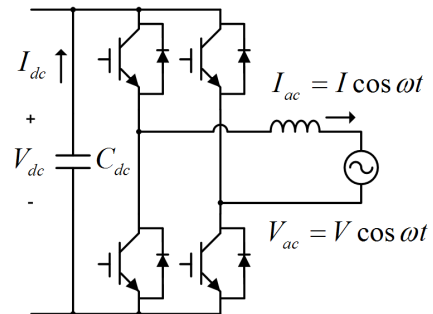


그림 2 단상 계통연계형 인버터  
Fig. 2 A single-phase grid-connected inverter

그림 2에서 직류단과 계통단에서 전력은 식 (1), (2)와 같다.

$$P_{dc} = V_{dc} I_{dc} \quad (1)$$

$$P_{ac} = V_{ac} I_{ac} = VI \cos^2 \omega t = \frac{VI}{2} (1 + \cos 2\omega t) \quad (2)$$

인버터의 효율을 100%라고 가정하면 직류단 전력과 계통단 전력은 같으므로 직류단 전류는 식 (3)과 같다.

$$I_{dc} = \frac{VI}{2V_{dc}} (1 + \cos 2\omega t) = \frac{VI}{2V_{dc}} + \frac{VI}{2V_{dc}} \cos 2\omega t \quad (3)$$

식 (3)은 직류단 전류가 직류 성분과 교류 성분으로 이루어져 있음을 의미한다. 2차 고조파 성분은 컨버터 전류에도 나타

나 파형을 왜곡하고 최대전력점을 추종할 때 효율을 떨어뜨린다.

## 2.2 비례공진 제어기

비례공진 제어기는 동기좌표계 변환 없이 정지좌표계에서 정상상태 오차를 제거할 수 있다. 그리고 공진주파수에서 이득이 무한대이며 위상지연이 없다. 이러한 이점들 때문에 비례공진 제어기는 저차 고조파를 없애는 고조파 보상기로 쓰인다<sup>[2]</sup>. 안정적인 제어를 위하여 식 (4)와 같이 저역통과필터를 사용한 비이상적인 비례공진 제어기를 사용한다.

$$G(s) = K_p + K_i \frac{\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega^2} \quad (4)$$

디지털로 구현하기 위한 양선형변환(bilinear transformation)을 사용하여 변환하면 식 (5)와 같다.

$$G(z) = \frac{n_0 + n_1 z^{-1} + n_2 z^{-2}}{1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}} \quad (5)$$

식 (5)를 정리하면 식 (6)과 같다.

$$y(n) = n_0 u(n) + n_1 u(n-1) + n_2 u(n-2) - d_1 y(n-1) - d_2 y(n-2) \quad (6)$$

## 2.3 전향보상

고조파를 보상하기 위하여 비례공진 제어기는 기존의 전류 제어기와 병렬로 연결한다. 지령 전류와 실제 전류의 오차를 비례공진 제어기에 입력하여 2차 고조파 성분을 추출한다. 그리고 비례공진 제어기의 출력을 전류제어기에 전향보상을 할 수 있다. 이렇게 전향보상을 하여 파형의 왜곡을 줄이고 최대 출력점 추종기법의 효율을 높일 수 있다.

전향보상을 고려한 전류제어기는 그림 3과 같다.

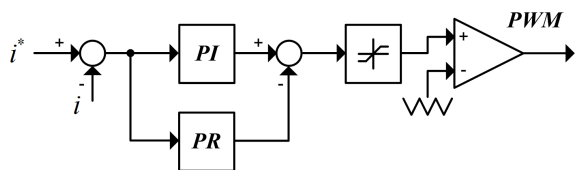


그림 3 전향보상을 고려한 전류제어기  
Fig. 3 The current controller with feedforward compensation

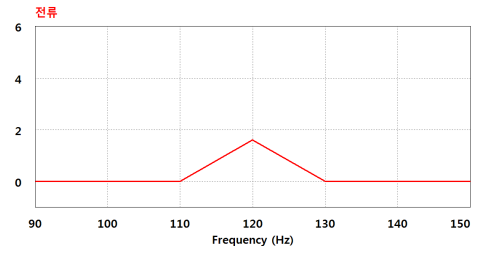
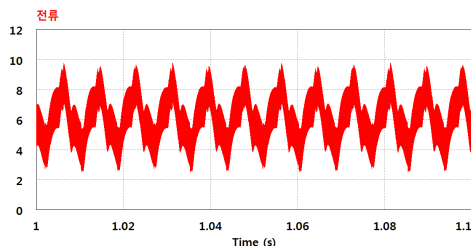


그림 4 보상 전 전류파형  
Fig. 4 The waveform of current without compensation

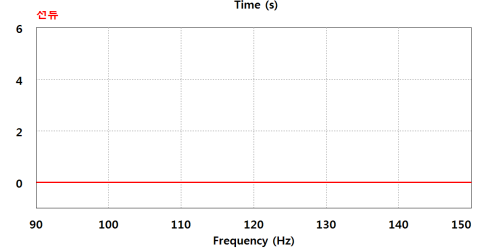
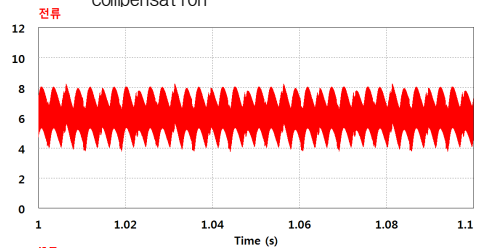


그림 5 보상 후 전류파형  
Fig. 5 The waveform of current with compensation

그림 4는 보상하기 전 2차 고조파가 리플로 작용하는 전류 파형이고 그림 5는 보상 후 2차 고조파가 없어진 전류 파형이다. 120Hz 성분이 없어진 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 태양광 발전 시스템에서 발생하는 저차 고조파를 저감하는 기법을 제안하였다. 단상 인버터에서 발생하는 2차 고조파는 비례공진 제어기를 사용하여 기존 전류제어기에 전향보상 함으로써 효과적으로 제거할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

본 논문은 2012년도 한국에너지기술평가원(지식경제부)의 재원으로 에너지자원기술개발사업 지원을 받아 수행된 것임(20111020400030 11 1 000)

## 참 고 문 헌

- [1] P. Dang and J. Petzoldt, "A new control method for eliminating the 2nd harmonic at the DC link of a shunt APF under an unbalanced and nonlinear load," *Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011 14th European Conference on*, pp.1 5, Aug. 2011.
- [2] 이종현, 이교범, "비례공진 제어기를 이용한 계통연계형 인버터의 고조파 왜곡보상," *2011 추계학술대회 논문집*, pp. 215 216, Nov. 2011.