

전력품질개선기능을 갖는 계통 연계형 태양광 발전시스템

이 성룡, 전 철환, 고 성훈, 조 아란  
 군산대학교 공과대학 전자정보공학부

Gird-interactive PV Generation System with Power Quality Control

Seong-Ryong Lee, Chil-Hwan Jeon, Sung-Hun Ko, Ah-Ran Cho  
 School of Electronic & Information Eng. Kunsan National University

**Abstract** - This paper presents a grid-connected photovoltaic (PV) system with direct coupled power quality control (PQC) algorithm, which uses an inner current control loop (PRT : polarized ramp time) and outer feedback control loop to improve grid power quality and maximum power point tracking (MPPT) of PV arrays. To reduce the complexity, cost and number of power conversions, which results in higher efficiency, single stage CCVSI (Current Controlled Voltage Source Inverter) is used. The proposed system operation has been divided into two modes (sunny and night). In night mode, the proposed system operates to compensate the reactive power demanded by nonlinear or variation in loads. in sunny mode, the proposed system performs PQC to reduce harmonic current and improve power factor as well as MPPT to supply active power from the PV arrays simultaneously. it is shown that the proposed system improves the system utilization factor to 100%, which is generally low for PV system (20%). To verify the proposed system, a comprehensive evaluation with theoretical analysis and simulation results are presented.

1. 서 론

최근 국제 유가의 급등 및 지구온난화를 해결하기 위한 온실가스 저감 문제 등으로 화석연료를 대체할 신재생에너지에 관한 연구가 전 세계적으로 주목받고 있다[1-2]. 특히, 에너지원의 대부분을 수입하는 우리나라의 경우 에너지 산업구조를 원천적으로 개선하기 위해 총에너지의 5%를 신재생에너지로 공급한다는 목표를 설정하였으며, 태양광 발전 시스템인 경우 2012년까지 태양광 주택 10만호 건설 사업을 추진하고 있다. 현재 개발되어 상용화되고 있는 태양광 발전 시스템은 가로등과 같은 소규모 독립형 태양광 발전시스템 및 지역 편중성과 설치규모의 선정에 자유로운 소규모 주택, 낙도 또는 산간벽지등과 같은 계통과 연계한 계통연계형태양광발전 시스템으로 크게 구분할 수 있다.

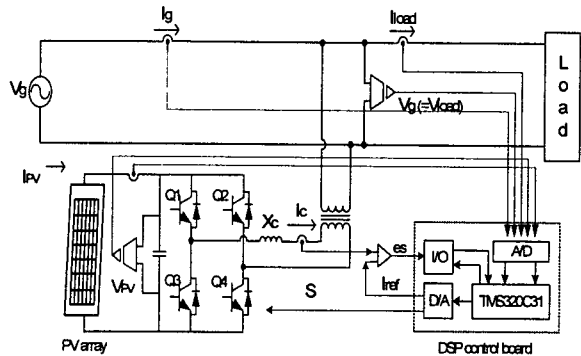
일반적으로 계통연계형 태양광 발전시스템은 태양 전지와 여기서 발생된 전력을 계통에 공급하는 전류제어형 인버터로 구성된다. 이러한 기존의 시스템은 단순히 태양광으로부터 발전된 전력을 인버터(또는 컨버터)의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어에 의하여 계통에 공급하는 방식으로 일사량이 있는 주간에만 이용할 수 있어 높은 설치비에 비하여 이용률(5~6시간/일)이 매우 저조할 뿐만 아니라, 주택 등과 같은 계통역할 발생 부하에 적용 시 MPPT 운전에 의한 유효전력 지원으로 계통의 역률은 오히려 악화되는 문제점을 가지고 있다. 일반적으로 계통에 역률이 발생하면 동일한 유효전력 수요에도 무효전력을 고려하여 공급해야 하기 때문에 계통의 공급전력요구량이 증가하게 된다. 현재 설치된 시스템의 규모가 작기 때문에 계통에 큰 문제가 되지 않지만, 앞서 언급한 것처럼 보급이 크게 확대되면 계통연계에 의한 문제가 발생할 수 있다. 한편, 컴퓨터 및 가전기와 같은 비선형 부하의 급증은 계통의 고조파 증가 및 역률 감소 같은 계통의 전력품질은 물론 전기기기의 오동작 및 전력변환기의 정격용량 증가 같은 문제점이 발생하게 된다. 이에 따라 IEEE-standard 및 한전 배전계통 공급기준 등에서는 전력품질 기준을 설정하고 엄격하게 규제하고 있다. 이러한 배전계통의 전력품질을 향상시키는 방안으로 능동전력필터 및 UPQC(Unified Power Quality Conditioner) 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 능동전력필터는 상대적으로 시스템 가격이 고가일 뿐 아니라 기존의 태양광 발전시스템에 추가로 설치해야 하기 때문에 전체 시스템의 대형화 및 가격이 상승하게 된다[3]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 기존의 계통연계형 태양광 발전 시스템에 추가적인 장치 없이 한전 배전계통 공급기준을 만족하는 전력품질(역률 0.9 이상, THD: 5%이내) 개선, MPPT 제어를 통한 최대 전력 발전, 시스템 이용률 향상(100%) 등을 모두 만족하는 시스템의 개발이 필요하다.

그러므로, 본 연구에서는 태양광 발전시스템의 활용도를 높이고 설치효과를 극대화하기 위하여 전력품질 개선기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 기존의 태양광 발전시스템과 같은 구조로 태양전지와 전류제어형 전압원 인버터(CCVSI: Current Controlled Voltage Source Inverter)로 구성되며, 주간 모드 및 야간 모드로 운전된다. 야간 모드에서는 양방향 전력수수가 가능한 전류제어형 전압원 인버터를 이용하여 전력품질 개선 제어 알고리즘(PQC: Power Quality Control)을 통해 부하 조건에 따라 무효전력 보상, 역률 보상, 고조파 제거 기능을 수행

한다. 일사량이 존재하는 주간 모드에서는 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위한 MPPT 제어와 PQC를 동시에 수행하여 태양전지를 이용한 최대 전력 공급 뿐 아니라 역률 개선 및 고조파 감소등과 같은 전력품질 개선 기능은 계속 수행하게 된다. 이는 기존의 시스템과 비교하여 이용률을 극대화시킬 수 있으며 고품질 전력을 공급할 수 있는 장점을 가진다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 부하 조건에 따른 모드별 동작원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시스템의 유용성을 확인하였다.

2. 전력품질 개선 기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템

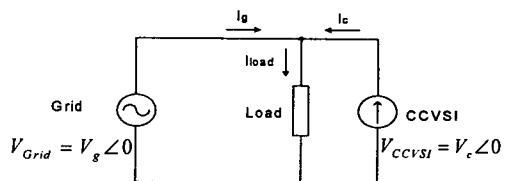
본 연구에서는 각각 독립적으로 연구 개발 되고 있는 능동전력필터와 태양광 발전 시스템의 장점과 가격대비 활용도를 극대화하여, 기존의 태양광 발전 시스템의 MPPT 뿐 아니라 능동전력필터의 PCS(Power Conditioning System) 기능인 전력품질 개선(계통의 고조파 감소 및 역률 개선) 기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템을 제안하였다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 시스템의 전체 구성도이다. 제안된 시스템은 단상 CCVSI, DSP를 이용한 제어 모듈, 센싱 및 인터페이스 모듈로 구성된다. CCVSI 입력은 PV와 연결된 캐패시터와 연결되며, CCVSI 출력단은 변압기를 통해 계통과 병렬로 연결된다.



〈그림 1〉 제안된 시스템의 전체 구성도

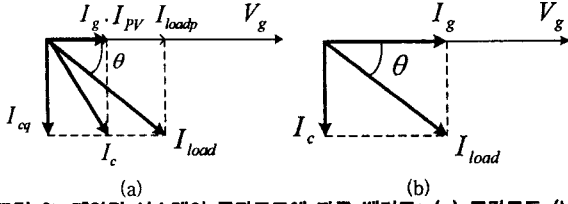
2.1 시스템 해석 및 제어 알고리즘

그림 2와 3은 본 연구에서 제안한 시스템의 등가회로 및 동작모드에 따른 벡터도이다. 제안된 시스템은 일사량이 존재할 시 MPPT와 PQC를 동시에 제어하는 주간 모드와 전력품질 개선만을 수행하는 야간모드로 구분된다.



〈그림 2〉 제안된 시스템의 등가회로도

그림 1의 제안된 시스템은 MPPT 제어뿐 아니라 계통의 전력품질을 개선하기 위해서는 계통에 병렬로 연결된 전압원 인버터가 전류제어형으로 동작하기 때문에 그림 2의 등가회로처럼 교류전류원으로 해석이 가능하다. CCVSI는 순시전류 피드백 제어에 의하여 원하는 전류를 직접 산출할 수 있어 빠른 응답으로 계통의 역률 및 고조파를 저감시킬 수 있는 장점을 가진다[4]-[5]. 또한, 전압 변동에 관계없이 지령 전류를 생성할 수 있으며 유효 및 무효전력 제어를 분리하여 제어할 수 있다. 그림 3은 인덕티브 부하 일때의 동작모드별 벡터도이다.



〈그림 3〉 제안된 시스템의 동작모드에 따른 벡터도: (a) 주간모드 (b) 야간모드

부하전류( $I_{load}$ )는 계통전류( $I_g$ )와 CCVSI 전류( $I_c$ )에 의해 공급되며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{load} = I_g + I_c \quad (1)$$

그림 3(b)의 야간모드에서는 부하 유효전력( $P_{load}$ )는 계통에서 전부 공급하며 단위 역률 제어를 위해서는 그 크기는 반드시 같아야 한다. 따라서 요구되는 계통 전류( $I_g^*$ )는 식(2)와 같다.

$$I_g^* = Re[I_{load}] = \frac{P_{load}}{V_g} \quad (2)$$

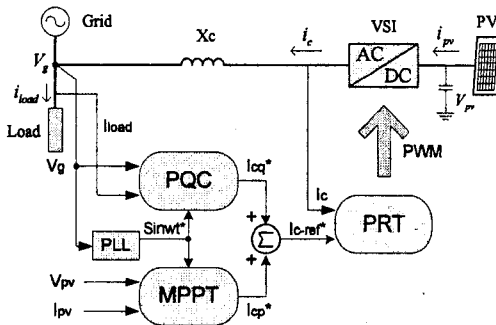
그림 3(a)의 주간모드에서는 요구되는 부하 유효전력을 MPPT제어를 통한 CCVSI의 유효전력으로 우선 공급하고 나머지 부분은 계통에서 공급하게 된다. 또한, 야간모드와 마찬가지로 부하의 무효전력성분은 CCVSI가 전부 담당하게 된다.

$$I_g^* = Re[I_{load}] - Re[I_c] = \frac{P_{load} - P_{pv}}{V_g} \quad (3)$$

CCVSI의 출력전류는 부하의 무효전력성분 또는 고조파 성분을 공급할 뿐 아니라 PV의 출력전류를 부하 또는 계통에 공급해야 한다. 이때 전력품질 고려한 식(2)와 (3)에 의해 요구되는 계통전류( $I_g^*$ )를 만족하는 인버터 전류( $I_c^*$ )는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_c^* = I_{load} - I_g^* \quad (4)$$

그림 4는 제안된 시스템의 제어 블록 선도이다. 시스템 제어 알고리즘은 PV의 최대출력을 위한 MPPT 제어 블록, 전력품질 개선을 위한 PQC 블록, CCVSI의 출력전류를 지령전류에 추종하게 하는 PRT 전류제어 블록으로 구성된다.



〈그림 4〉 제안된 시스템의 제어 블록 선도

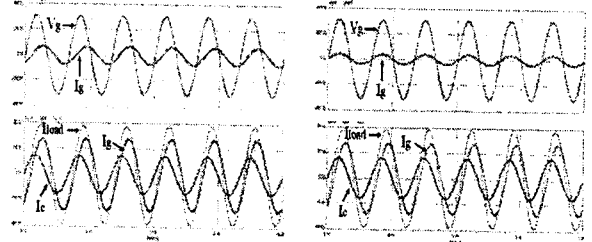
### 3. 시뮬레이션

본 연구에서 제안된 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 사용하였으며, 시뮬레이션에 사용한 PV는 최대출력이 1432Wp, MPPT 전압 103.8V 이며 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. PSIM은 C언어로 코딩이 가능한 DLL을 이용하면 실제 DSP로 구현한 시스템과 비슷한 동작 특성을 확인할 수 있다.

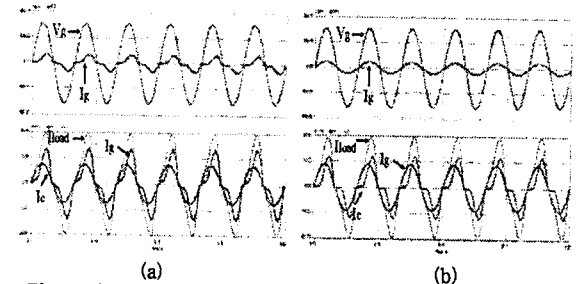
〈표 1〉 시뮬레이션 조건

Parameters	Values	Parameters	Values
V <sub>ac</sub>	220V <sub>rms</sub>	V <sub>mppt</sub>	103.8V
기본 주파수	60Hz	스위칭 주파수	5kHz
필터 인덕터	6mH	DC 링크 캐패시터	100uF

그림 5와 6은 부하 3KVA(부하각 36.9의 유도성 부하와 비선형 부하)일 때의 시뮬레이션 결과이다. 그림 5는 유도성 부하 조건에서의 시뮬레이션 결과로 (a)는 기존의 시스템이며 (b)는 제안된 시스템의 결과이다. 그림에서처럼 제안된 시스템은 MPPT와 PQC 제어를 동시에 수행하여 유효전력뿐 아니라 무효전력도 보상함으로써 단위역률제어가 가능함을 확인할 수 있다. 그러나 기존의 시스템은 단순히 MPPT 제어를 통한 유효전력만을 공급함으로써 계통의 유효전력 요구량만 감소시켜 계통의 역률을 더욱 악화(부하각 36.9의 부하에서 계통 전류 지연 51.3) 시킴을 알 수 있다. 또한, 그림 6의 비선형 부하일 경우 그림 6(b)의 제안된 시스템은 부하조건을 고려하여 단위역률 제어뿐 아니라 고조파도 저감시킬수 있음을 확인할수 있지만, 그림 6(a)의 기존의 시스템은 고조파 제거 기능이 전혀 없음을 알 수 있다.



〈그림 5〉 유도성 부하일 때의 시뮬레이션 결과: (a) 기존의 시스템 (b) 제안된 시스템



〈그림 6〉 비선형 부하일 때의 시뮬레이션 결과: (a) 기존의 시스템 (b) 제안된 시스템

## 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 태양광 발전시스템에 추가적인 장치 없이 고조파 감소 및 역률개선과 MPPT 제어를 동시에 수행할 수 있는 전력품질 개선 기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전 시스템을 제안하였고, 부하 조건에 따른 모드별 동작원리 및 제어 알고리즘을 이론적으로 해석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 제안된 시스템이 MPPT 제어를 통한 유효전력 공급뿐 아니라 PQC 제어를 통해 역률 부하 및 비선형 부하 시에도 항상 고조파 감소 및 단위 역률 제어가 가능함을 확인하였다. 제안된 시스템은 일사량이 없는 야간모드에서는 부하조건에 따라 CCVSI의 출력전류를 제어하여 역률향상 및 고조파 감소 기능을 수행하며 주간모드에서는 태양전지의 최대출력을 얻을 수 있는 MPPT 제어와 단위역률 및 고조파를 저감할 수 있는 PQC 제어를 동시에 수행할 수 있어 기존의 태양광 발전 시스템과 비교하여 시스템 이용률(100%)을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-136) 주관으로 수행된 과제임.

## 〈참 고 문 헌〉

- [1] Xiaofeng Sun, Weiyang Wu, Xin Li, and Qinglin Zhao, "A research on photovoltaic energy controlling system with maximum power point tracking", Conf. Rec. of Power conversion conference, vol.2, pp. 822-826, April
- [2] A.M. Sharaf and A.R.N.M.R.U. Haque, "Low cost utility interconnected photovoltaic scheme for residential/ village/ cottage electricity", Proceedings of the System Theory SSST, vol. 1, pp. 435-438, March 2005.
- [3] 고성훈, 신영찬, 이성룡, "전력품질개선 및 부하분담 기능을 갖는 계통연계형 소규모 에너지 저장시스템", 대한전기학회 논문지, 54B, No.8 pp.387-394 2005.8
- [4] S.H. Ko, Y.C. Shin and S.R. Lee, "Implementation of Grid-interactive Current Controlled Voltage Source Inverter for Power Conditioning System", KIEE Trans. Vol. 5-B, No.4, pp.382-391, 2005.