

계통 연계 운전 보호 알고리즘 적용을 위한 태양광 PCS 개발

전진홍, 김슬기, 안종보, 김응상, 조창희
한국전기연구원 전력연구단 신재생에너지지원연구그룹

A Development of Photovoltaic PCS for a Protection Algorithm of Grid-Connected Operation

JinHong JEON, SeulKi KIM, JongBo AHN, EungSang KIM, ChangHee CHO
Electric Power Research Laboratory, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전 보호 협조 알고리즘 적용 및 시험을 위해 개발되고 있는 태양광 발전용 PCS의 설계 및 실험 결과에 대하여 제시하고자 한다. 태양광 발전 시스템은 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하여 주는 태양 전지판과 발전된 전기 에너지를 전력 계통에 연계하여 주는 전력 변환 장치(Power Conversion System)로 구성되어 있다. 개발된 PCS는 10kW 태양광 전지에서 발전된 전력을 상용 계통에 연계할 수 있도록 개발 되었으며 본 논문에서는 전체 시스템의 구성과 계통 연계 운전 결과에 대하여 제시하고자 한다. 개발된 PCS는 태양광 발전 시스템의 보호 협조 알고리즘 개발과 분산전원 시스템 관련 연구에 활용될 계획이다.

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전 보호 협조 알고리즘 적용 및 시험을 위해 개발되고 있는 태양광 발전용 PCS의 설계 및 실험 결과에 대하여 제시하고자 한다. 태양광 발전 시스템은 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하여 주는 태양 전지판과 발전된 전기 에너지를 전력 계통에 연계하여 주는 전력변환 장치로 구성되어 있다. 개발된 PCS는 10kW 태양광 전지 어레이에서 발전된 전력을 상용 계통에 연계하여 운전하기 위하여 개발 되었으며 본 논문에서는 현재 시험에 사용될 태양 전지 어레이와 태양 전지 어레이에서 발전된 직류 전력을 계통에 연계 운전하기 위한 PCS의 구성과 사양에 대하여 설명하고, 계통 연계 운전 결과에 대하여 제시하고자 한다. 개발된 태양광 발전 시스템은 태양광 발전 시스템의 보호 협조 알고리즘 개발과 분산전원 시스템 관련 연구에 활용될 계획이다.

1. 서 론

산업의 발달과 생활수준의 고급화로 인하여 전력 에너지 수요는 급격하게 증가하는 반면, 이러한 전력 에너지 수요를 충족할 수 있는 대규모 발전 설비의 확충은 경제적, 환경적인 문제로 인하여 어려움이 점점 증가하고 있다. 이에 대한 해결 방안으로 배전망에 소규모 발전설비를 접속하여 운전하는 마이크로그리드 시스템이 제시되고 있으며 국내외에서 많은 연구가 이루어지고 있다^{[1][2][3]}. 이러한 마이크로 그리드 시스템의 전력 에너지원으로 친환경적인 신재생에너지를 이용한 발전설비에 대한 관심이 매우 높다. 또한, 최근 고유가와 환경 문제로 인하여 신재생에너지원에 대한 관심이 높아지고 있으며 이를 실제 시스템에 적용하고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다^{[1][2][3]}. 이미 미국, 일본, 유럽의 선진국에서는 많은 연구가 진행되어 왔으며 특히 미국에서는 IEEE P1547의 계통 연계 기준안을 통해 신재생에너지 전원의 계통 연계 기준이 확립되어 있다^[2].

현재까지 우리나라에서는 소규모(가정용 수kW 이하) 개별 신재생에너지 전원이 독립적으로 사용되어 왔으며 그 규모도 그렇게 크지 않다. 그러나 신재생에너지 전원의 대용량화에 대한 관심이 커지고 있으며 이에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있는 추세이다^{[3][4]}. 이러한 대용량 전원의 계통 연계 운전 시에 외부 계통의 사고나 혹은 시스템 내부 사고에 의한 비정상적인 동작은 계통의 안정적이고 신뢰성 있는 운전에 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 신재생에너지 전원 중 가장 적용이 크게 이루어지고 있는 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전을 위한 보호 알고리즘을 개발하기 위한 연구가 진행 중에 있으며 이러한 연구의 일부분으로 연계 운전 및 보호, 제어 알고리즘의 적용 및 시험을 위한 PCS 개발 연구가 수행되고 있다. 태양광 발전 시스템에 적용될 태양 전지 어레이의 특성 분석 및 제어 알고리즘 개발을 위한 모델링 및 해석에 관한 연구가 진행되었고 이를 기반으로 하여 실증 시스템을 제작하여 시험 중에 있다^{[5][6]}.

2. 본 론

2.1 태양광 발전시스템의 구성

태양광발전시스템의 일반적 구성은 태양 전지 어레이, 축전지와 전력변환기 등 주변기기 등의 조합에 따라 여러 가지 형태로 시스템을 구성할 수 있다^{[7][8]}. 태양광 발전 시스템에 사용되는 태양 전지 판은 그림 1에서 제시하는 바와 같이 셀, 모듈, 어레이로 구성된다^{[7][8]}. 태양 전지 셀은 태양 전지의 기본구성 단위로 일반 다이오드 정도의 출력 전압과 전류 용량을 가진다. 태양 전지 모듈은 여러 개의 셀이 직렬로 연결되어 있는 구성단위로 시스템에 필요한 전압 확보를 위해 여러 개의 셀을 직렬로 연결한다. 태양 전지 어레이는 여러 개의 모듈이 직렬로 연결되어 구성된다. 실제 설치되는 시스템은 모두 어레이 형태를 가지고 있으며 적용하는 발전 시스템의 사양에 따라 직렬과 병렬 모듈의 개수를 결정한다^{[5][6]}.

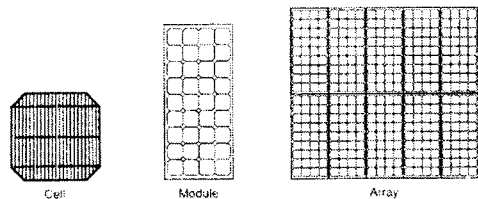


그림 1 태양 전지 어레이 구성

일반적인 태양광 발전 시스템의 구성은 그림 2와 같이 태양광으로부터 전기를 발생하는 태양 전지 어레이, 어레이의 직류 출력을 적절한 출력제어 방식을 이용하여 교류출력으로 변환하는 전력변환장치 그리고 이 교류 출력전압을 연계계통의 전압과 동일한 수준으로 승압하는 연계변압기로 이루어진다^{[7][8]}.

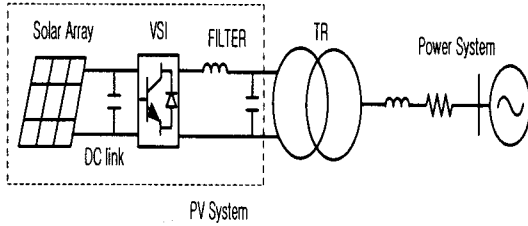


그림 2 계통 연계형 태양광 발전 시스템 구성

2.2 태양 전지 어레이 구성 및 사양

태양광 발전 시스템 구성을 위해 사용된 태양 전지 어레이를 구성하고 있는 기본 모듈의 기본 사양을 표 1과 같다^{[5][6]}.

표 1 태양 전지 모듈의 사양

모델명	GMG 10530
개방전압	21.7 [V]
단락전류	3.35 [A]
최대출력점 전압	17.4 [V]
최대출력점 전류	3.05 [A]
최대출력	53 Wp
시험조건	1000 W/m ² , 25° C, AM 1.5

시스템 개발에 사용된 태양 전지 어레이는 임의로 결선이 가능한 3개의 독립적인 어레이로 구성되어 있으며 각각의 어레이는 60개의 모듈로 구성되어 있다. 각 어레이는 10개의 모듈이 직렬로 연결되어 있는 6개의 하부 어레이(sub-array)로 구성되어 있다. 따라서 각 하부 어레이를 적절한 출력 전압이 발생될 수 있도록 직병렬로 구성하여 시스템을 구성하였다. 본 연구에서는 태양광 발전용 PCS의 DC 입력 전압을 300V ~ 400V로 설계하였으므로 하부 어레이 2개를 직렬로 연결하고 이렇게 직렬 연결된 하부 어레이 3개를 병렬로 연결하여 태양 전지 어레이를 구성하였다. 모두 3개의 독립적인 어레이가 있으므로 총 180개의 모듈이 20개의 직렬 연결과 직렬 연결된 하부 어레이 9개가 병렬로 연결되어 있는 구성이 된다. 지금까지 설명된 태양 전지 어레이의 구성을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3은 3개의 어레이 중 1개를 표시한 것이다.

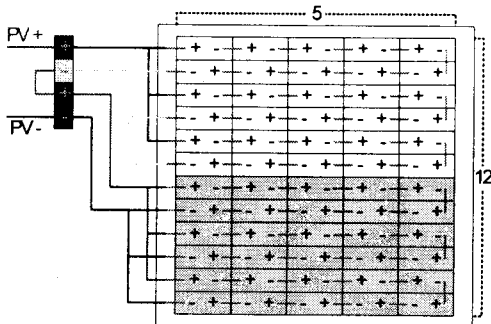


그림 3 태양 전지 어레이 구성

실험 기상 조건(400 W/m², 25°C)에서 태양 전지 10개의 직렬 모듈에서 발생하는 전압은 190Vdc로 확인되었으며 각 어레이로부터 380Vdc, 3kW 시스템을 구성할 수 있으며 3개의 어레이를 병렬도 연결하여 대략 10kW

급의 태양 전지 어레이를 구성할 수 있도록 하였다. 최대 출력 점에서의 각 어레이의 전압, 전류를 계산하여 보면 다음과 같다.

- ▶ 최대 출력 전압 17.4Vdc × 20 = 348Vdc
- ▶ 최대 출력 전류 3.05Adc × 3 = 9.15Adc
- ▶ 최대 출력 전력 348Vdc × 9.15Adc = 3184.2W
- ▶ 최대 개방 전압 21.7Vdc × 20 = 434Vdc
- ▶ 단락 전류 3.35Adc × 3 = 10.05Adc

연구에 사용된 태양 전지 어레이의 실제 모습은 그림 4와 같다.

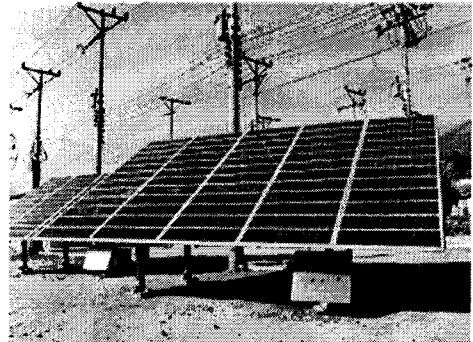


그림 4 연구에 사용된 태양 전지 어레이

2.3 PCS 구성 및 사양

태양 전지에서 발생된 전력은 직류 전력이므로 이를 계통에 연계하여 운전하기 위해서는 직류를 60Hz의 교류로 변환하여 주는 전력변환장치가 필요하다. 이러한 기능을 하는 전력변환장치를 태양광 PCS라고 하며 본 연구에서 개발된 태양광 PCS의 기본적인 사양은 표 2와 같다.

표 2 태양광 PCS 사양

항 목	사 양
인버터 형식	PWM Inverter (IGBT)
정격 출력 용량	10kVA
정격 출력 전압	380V(3상4선)
정격 출력 주파수	60Hz
출력단 전류 THD	5% 이내(정격 부하시)
정전시 인버터 정지	600ms이내
계통전압 변동율	10% 이내
효율	90% 이상(100% 부하시)
과부하 능력	150% 1분
기기 소음	60dB 이하 (1M 거리)
냉각방식	강제 공냉식

본 연구에서 개발된 태양광 PCS는 태양광 출력이 연결되는 DC link, 직류 전압을 교류 전압으로 만들어 주기 위한 IGBT Stack, 출력 전압의 고조파 제거를 위한 LC filter, 계통 연계를 위해 적절한 출력 전압을 만들어 주기 위한 연계 변압기, PCS 전체를 적절히 제어하기 위한 제어로 구성되어 있다. 제작된 전체 시스템의 구성은 그림 5에 나타내었으며 실제 구현된 모습은 그림 6에 나타내었다.

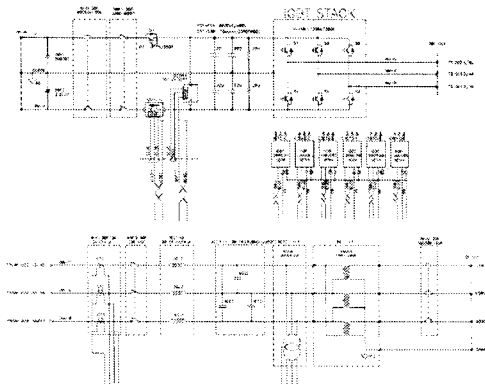
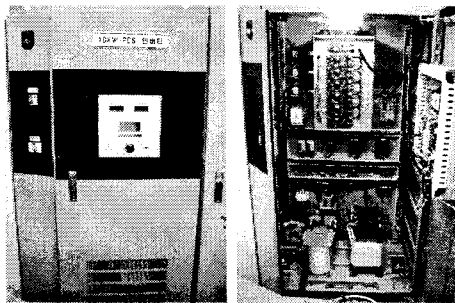
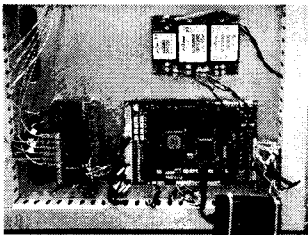


그림 5 태양광 PCS 구성도



(a) 외부 (b) 내부



(C) 제어기

그림 6 태양광 PCS 시스템

2.4 계통 연계 운전 결과

개발된 태양광 발전 시스템의 동작을 검증하기 위하여 3상-380V 상용 계통에 시스템을 연계하여 그 출력을 확인하였다.

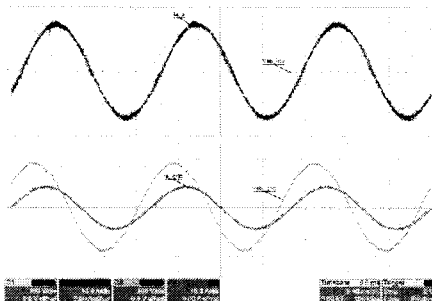


그림 7 태양광 PCS 출력 전압 및 전류

태양광 PCS의 인버터 출력은 168V-380V 변압비를 가지는 연계 변압기를 통해 계통에 연계된다. 변압기 1차측에서는 380V에 9.5A의 출력(6.2kVA)이 2차측에서는 168V에 21A의 출력이 발생되고 있음을 확인하였다. 그림 7은 이러한 출력을 오실로스코프로 확인한 결과이다. 그림 7에서 상단부는 인버터 측(변압기 2차측) 출력 전압 및 전류, 하단부는 계통 측(변압기 1차측) 출력 전압 및 전류를 나타낸 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전 보호 협조 알고리즘 적용 및 시험을 위해 개발되고 있는 태양광 발전용 PCS의 사양 및 계통 연계 실험 결과에 대하여 제시하였다. 태양광 발전 시스템은 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하여 주는 태양 전지판과 발전된 전기 에너지를 전력 계통에 연계하여 주는 전력변환 장치로 구성되어 있다. 개발된 PCS는 10kW 태양광 전지 어레이에서 발전된 전력을 상용 계통에 연계하여 운전하기 위한 목적으로 개발 되었다. 본 논문에서는 태양 전지 판과 태양광 발전 시스템의 기본 구성에 대하여 설명하였다. 또한 연구에 사용될 태양 전지 어레이의 구성과 사양에 대하여 제시하였으며, 태양 전지 어레이에서 발전된 직류 전력을 계통에 연계 운전하기 위한 전력변환 장치의 구성과 사양, 그리고 실험 시스템의 설계 사진을 제시하였다. 그리고 개발된 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전 결과에 해당하는 출력 파형을 제시하여 개발된 태양광 발전 시스템의 계통 연계 운전이 정상적으로 실행되고 있음을 보였다. 개발된 태양광 발전 시스템은 태양광 발전 시스템의 보호 협조 알고리즘 개발과 분산전원 시스템 관련 연구에 활용될 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] EU의 "European Research Project Cluster: Integration of RES+DG" homepage(<http://microgrids.power.ece.ntua.gr/documents.htm>)
- [2] CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) homepage(<http://certs.lbl.gov/>)
- [3] 한국전기연구원, "자율적 수요관리형 마이크로그리드 개발", 2004년~2005년
- [4] 한국전기연구원, "신재생에너지전원의 계통연계 다이나믹 시뮬레이션 모델 개발", 1차년도 보고서, 2004년 11월
- [5] 김슬기, 전진홍, 김용상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 모델링 및 모의 해석", 대한전기학회 논문지 54A권 3호, 2005년 3월, pp107-116
- [6] 전진홍, 김슬기, 안중보, 김용상, "계통 연계형 태양광 발전 시스템의 모델링 및 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2005년 7월
- [7] Luis Castaner and Santiago Silvestre, Modeling Photovoltaic Systems Using PSpice, JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002.
- [8] Mukund R. Patel, Wind and Solar Power Systems. CRC Press, USA, 1999.