

주력용 3KW 계통연계형 태양광 발전시스템의 MPPT제어 알고리즘 운전특성 연구

한후석, 이영진, 한상석
기초전력연구원, 이원엔시스, 전북대학교

A Study on Operating Characteristics of 3Kw Utility Interaction Photovoltaic Power Generation

Han Hoosek, Lee young-jin, Han sang-sek
KESRI, EWON E&C, Chonbuk university

Abstract - 태양광 발전시스템의 성능평가 및 분석을 위하여 실증단지 및 시범사업으로 설치·운영하고 있으며, 주력용 3KW 계통연계형 태양광 발전시스템도 10만호 보급사업의 일환으로 추진 중에 있다. 본 논문에서는 이와 같이 추진 중인 3KW 태양광 발전시스템의 기본구성과 설치된 PV시스템의 각종 구성요소 기기 특히 계통연계형 인버터에 대하여 알아보며, 실증시험을 위하여 설치된 모니터링 시스템에서 수집된 데이터를 토대로 PV시스템의 성능을 위한 운전 특성을 분석하였다.

1. 서 론

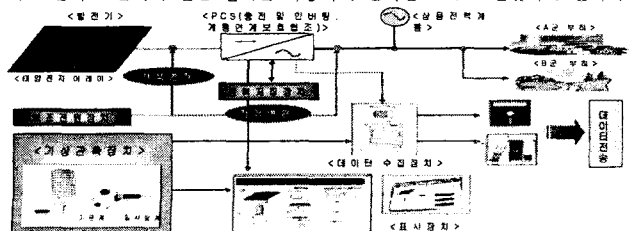
최근 전 세계적으로 환경을 위한 기후협약과 화석연료의 고갈에 따른 에너지 및 환경 문제에 대처하기 위하여 신·재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 신·재생에너지 원으로 태양광발전, 풍력발전, 연료전지에 대하여 중점적으로 연구를 수행하고 있다. 특히 태양광발전(PV, Photovoltaic)은 실증연구를 토대로 10만호 보급사업도 추진 중에 있다. 이와 같이 신·재생 에너지를 이용한 분산전원 보급에 대한 정부의 적극적인 지원정책이 가속하게 됨에 따라 이에 대한 연구개발과 관심이 증가하고 있다.[1] 특히 태양광발전은 화석연료를 이용하는 발전방식이나 원자력발전 방식과는 다르게 대기오염이나 소음등 환경적으로 공해가 전혀 없는 깨끗한 에너지원이다. 더불어 발전을 위한 연료의 수송도 필요 없어 발전소의 유지를 위한 유지 관리가 용이하며, 설치규모의 선택과 설치를 위한 공사가 쉬운 장점을 가지고 있어 도서 벽지나 소규모 분산전원을 요하는 곳에서 많은 수요가 있을 것으로 예측하고 있다.[2] 이와 같이 신재생에너지는 분산형 전원으로 사용되고 있으며, 전력계통과 연계하여 운전함으로써 안정된 전원을 얻을 수 있으며 이 전원을 부하에 공급함은 물론 잉여 전력은 실계통에 공급함으로써 다양한 에지지를 효율적으로 활용할 수 있다는 점에서 신재생에너지를 이용한 분산원 전원은 기존의 실계통과 연계를 하여 활용 및 보급되고 있다.[5][6] 최근 국내에서도 태양광 발전시스템의 성능평가 및 분석을 위하여 실증시험 및 보급 사업으로 운영되고 있다.[3][4]

본 논문에서는 보급 사업으로 설치된 3KW 연계형 태양광 발전시스템의 구성요소에 대하여 알아보고 설치된 모니터링 시스템으로 수집한 데이터를 분석하여 발전에 영향을 주는 다양한 변수들에 대하여 알아보고 필요시 개선방안을 모색하였다. 태양광은 모듈의 온도와 빛의 일사량, 설치된 태양광 발전시스템의 주변건물이나 구름으로 인한 발전량의 변화에 대하여 알아보고, 향후 시스템 설치를 위한 설계시 반영할 수 있는 방안을 마련하였다. 또한 계통연계형 인버터의 종류는 크게 저주파 변압기를 사용하는 방식과 고주파 변압기를 사용하는 고주파 링크방식, 그리고 절연변압기를 사용하지 않는 방식으로 구분된다. 예전에는 저주파 변압기 방식이 많이 사용되었으나 변압기로 인하여 시스템의 크기나 무게가 커지는 단점이 있어 최근에는 고주파 링크방식이나 절연변압기가 없는 방식이 많이 사용되고 있다.[3] 따라서 인버터 방식에 대하여도 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 태양광 발전시스템의 개요

일반적으로 주력용 태양광 발전시스템은 크게 지붕위에 설치하는 태양전지 모듈과 모듈에서 얻은 전기를 사용하기 편리한 교류로 변환하는 인버터



<그림 1> 태양광발전시스템 구성도

와 그리고 시스템의 동작을 파악할 수 있는 모니터링 시스템과 각종 보호 장치들로 구성되어 있으며, 발생된 전력의 안정화를 위한 전력균형제어 기능과 전력품질제어기능 그리고 최대출력점제어, 시스템보호 및 계통과의 보호협조 기능을 갖추고 있어야 한다. 아래 그림1은 태양광발전시스템의 구성도를 나타내고 있다.

2.2 계통연계형 인버터

일반적으로 계통연계형 인버터는 모듈에서 발생된 DC 전력을 공급받아 태양에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 최대 전력점에서 동작하도록 하는 최대전력점 추적제어와 직류출력을 교류로 변환하는 인버터 및 계통과 절연시키는 트랜스로 구성되어 있다.

인버터는 DC-AC 컨버터장치로서 주회로 소자는 IGBT를 사용하며 스위칭주파수는 가칭주파수 이상으로 약 20[KHz]까지 스위칭시킬 수 있다. 또한 직류전력을 교류전력으로 변환하고 있으며 계통과 동기운전을 하면서 고조파 전류가 적은 정현파전류를 부하기기 및 계통에 공급되며 태양전지 출력을 최대전력으로 발생하기 위하여 최대 전력추종제어(MPPT)를 행하고 있다. [5][6] 인버터는 부하의 가동이 적은 경우, 인버터는 잉여전력을 계통에 역조류시켜 전력을 사용계통에 공급하게 되고 발전이 부족한 경우 계통으로부터 부족한 전력을 조류시킨다. 전압제어형의 경우는 제어대상이 출력측의 전압의 크기와 위상으로 되어 있어 과전류 또는 고장전류의 억제에는 불리하나 자리비운전이 가능하다. 한편 전류제어형의 경우는 제어 대상이 전류의 크기와 위상으로 되어 있어 과전류 또는 고장전류의 억제에 유리하나 수용가의 부하만을 감당하여 자립 운전하는 경우에는 불리하다. 상용주파수절연방식의 경우 PWM인버터를 이용해서 상용주파교류를 만들어 공급하고 상용주파의 변압기를 이용해서 절연과 전압변환을 수행하도록 되어 있다.[10] 고주파절연방식의 경우는 소형경량으로 되는 이점이 있지만 회로가 복잡하게 되는 단점이 있다. 트랜스리스 방식은 소형경량과 저가격에 이점이 있고 또한 신뢰성도 높지만 상용전원과 비절연의 상태로 되어 있어 직류전류유출에 대한 감출기능을 갖추어야 한다. 한편 인버터는 상기의 기본기능이외에 갖추어야 할 기능으로서는 기후조건에 따라서 변동하는 태양전지의 출력을 가능한 한 최대로 활용하기 위한 자동운전 정지기능과 최대 전력추종제어기능, 계통보호를 위한 단독운전방지기능과 자동전압조정기능, 계통 및 인버터에 이상이 발생하였을 때 계통으로부터 인버터를 안전하게 분리시켜 정지시키는 기능 등이 있다.

자동운전정지기능으로는 인버터는 태양전지의 출력을 자동 감시하여 운전을 자동적으로 운전할 있도록 하여야 하며, 구름이나 비 등으로 일조조건이 좋지 않은 경우는 운전대기상태로 하며, 일몰시에는 운전을 정지하도록 하여야 한다.

최대출력추종제어의 기능은 태양전지의 출력이 일사강도와 모듈의 표면 온도에 따라 변동하게 되는데 이 변동에 따라서 태양전지의 동적점이 최대출력을 내도록 제어 되어야 한다. 최대출력추종제어는 인버터의 직류동작 전압을 일정시간간격으로 약간 변동시켜 그때의 태양전지 출력전력을 계속하고 변동전후의 값을 비교하여 전력을 최대로 하는 방향으로 인버터의 직류전압을 변화시킨다.

단독운전방지기능으로는 태양광발전시스템이 계통에 연계하여 운전하고 있는 상태에서 계통측에 정전이 발생하였을 때 계통측의 부하가 인버터의 출력전력과 거의 동일할 경우에는 인버터의 출력전압은 변화하지 않는 조건을 되어 있어 전압 및 주차수계전로서는 계통측의 정전상태를 감지할 수 없다. 이 때문에 태양광발전시스템으로부터 계통측으로 전력을 공급할 가능성이 있으며 이 운전상태를 단독운전상태로 정의 한다. 단독운전이 발생하면 계통의 보수점검자에게 위험을 초래가 있어 인버터를 정지할 필요가 있다.

자동전압조정기능으로는 계통연계운전시 역조류운전을 수행할 경우 수전점 또는 연계점의 전압이 상승하여 전력회사의 전압적정운전범위를 벗어나게 할 가능성이 있다. 따라서 자동전압조정기능을 갖추어 전압의 상승을 여겨할 필요가 있다.

2. 3 MPPT제어

현재 태양광발전을 위한 최대출력점 제어방법에는 몇가지 방식들이 연구되어 지고 있으며, IncCond 방법과 P&O 방법이 있다. P&O MPPT알고리즘을 이용한 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖고 있으며 소수의 측정 파라미터를 가지고 있기 때문에 널리 이용되고 있다. 이것은 태양전지의 전압을 주기적으로 증가 또는 감소시킴으로써 동작하도록 하고 있으며 이전의 교란주기 동안의 태양전지 어레이 출력전력과 함께 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는 방식이다. 또한 IncCond MPPT 알고리즘 방법은 부하임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법이다.

태양전지의 출력특성은 일사량, 동작전압 및 온도 등에 따라 동작 특성이 변하고 최대출력점도 변하고 있다. 여기서 태양전지의 출력특성은 일사량변화에 따른 태양전지의 최적동작점인 출력전력의 P_{max} 점을 각각 가지고 있는데 이 P_{max} 점이 각 일사량 값에서 태양전지 에너지 효율이 가장 높은 점이라고 할 수 있다. 이러한 최대전력 발생 동작점은 일사량이나 주위온도에 따라 변하고 태양전지 제조업체마다 다르게 나타나며 동일한 제조업체의 경우에도 각각 다르게 나타나므로 최대출력점에서 동작할 수 있도록 태양전지의 동작점을 제어하는 것이 중요하다.[11]

MPPT제어 기술의 핵심은 측정된 어레이 파라미터(I, V, P)를 이용하여 MPPT를 잡는 소프트웨어 알고리즘이며, PV 어레이의 동작점 변화와 어레이 출력전력의 변화에 일치시키기 위하여 연속적으로 동작시킨다. 그 제어방법에 대해서는 다양한 방법의 연구결과가 보고되고 있으며, 많은 논문을 통하여 P&O법 보다 향상된 알고리즘임을 실험으로 증명하고 있으며 특히 빠른 일사량 변동시에 유리한 알고리즘으로 알려져 있다.

2.3.1 P&O MPPT 알고리즘

P&O MPPT 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖고 있으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용되고 있다. 이는 태양전지전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며 이전의 교란주기 동안의 태양전지 출력과 함께 현재 어레이 출력전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다. 전력이 증가하면 교란은 다음 주기동안 계속해서 같은 방향으로 증가할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 될 것이다. 이것은 어레이 단자전압이 모든 MPPT에 이르렀을 때 P&O알고리즘은 일정 혹은 천천히 변하게 된다.

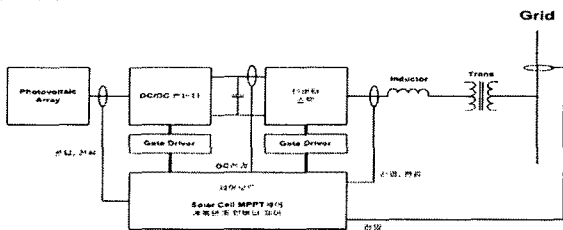
2.3.2 IncCond MPPT 알고리즘

IncCond P&O 방법은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스와의 비교에 의해서 태양전지 출력을 제어하는 방법이며, P&O알고리즘의 결점은 MPP점에서 자러진동하는 것이며, 일사량 변동에 따라 전압변동폭이 따라가지 못하는 것이다. 이런 P&O 알고리즘의 결점을 피하기 위한 IncCond알고리즘은 Hill-Climb 방법에 따른 IncCond MPPT의 특성이며 과거의 값과 비교해서 매 샘플링시간마다 MPPT를 수행한다. 즉 어레이 단자전압이 이 값의 상대적인 MPP 전압에 따라 항상 조절되어진다.

2.4 시스템 구성

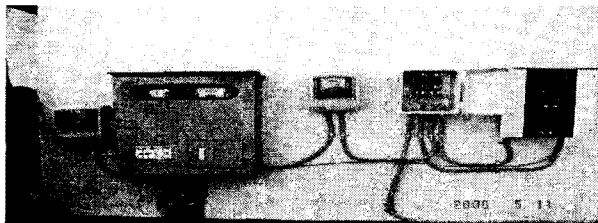
2.4.1 실증실험을 위한 3KW 태양광 발전시스템 구성

실증실험을 위하여 설치된 3KW 태양광발전시스템은 크게 다섯가지의 제품으로 구성되어 있으며, 그림 2-2는 3KW 계통연계형 태양광발전시스템의 구성도이다.



<그림 2> 3KW 태양광 발전시스템 구성도

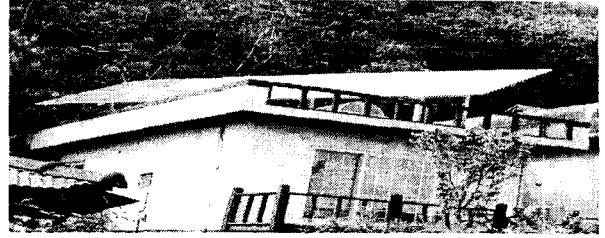
그림 3은 실제 설치된 주택용 3KW 계통연계형 인버터 시스템의 기본결선도를 나타낸 것이다.



<그림 3> 3KW 실제 설치시스템의 결선도

2.4.2 태양전지 어레이

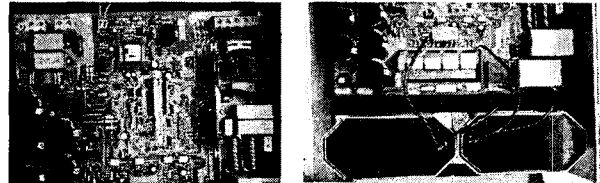
실제 설치된 주택용 3KW 태양광 발전시스템의 태양광 어레이는 아래 그림 4와 같다 태양전지 어레이는 최대출력 200[W]인 다결정 실리콘의 태양전지를 사용하였으며, 그림처럼 16개의 모듈로서 옥상에 거치대를 설치하여 집광을 하고 있다.



<그림 4> 실제 설치된 태양광시스템의 어레이

2.5 PCS

실제시스템에 사용된 태양전지 어레이의 정격출력은 2.9KW~3.2KW이며 PCS의 정격출을 3KW~4.2KW의 범위로 하여 시스템이 구성되었다. 아래 그림은 실제 설치된 제품으로 최대전력추종제어를 하는 전압형 전류 제어방식을 사용한 고주파절연변압기가 내장된 3KW 정격용량의 PCS를 사용하였으며 PCS의 정격입력전압은 224V로서 90%이상의 변환효율을 가지고 있다. 아래 그림5는 실제시스템에 적용된 인버터의 외형이다.



<그림 5> 실제 설치된 계통연계형 인버터시스템

PCS 출력단의 전압, 전류 특성 곡선을 살펴보면 태양광발전시스템이 적절하게 운전되고 있음을 알 수 있으며, 전류에서 약간의 리플이 보이지만 일반부하에 계통을 연계하여도 파형이 일정한 형태로 유지되어 계통연계형 태양광 발전시스템이 적절히 운전되고 있음을 알 수 있다. 또한 실제 계장기를 통하여 태양광발전시스템에서 발생한 전력이 계통측으로 공급되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 주택용 3KW 계통연계형 태양광발전시스템을 실제 가정에서 설치하여 실증시험운전을 하기위한 실제 구성도에 알아 보았으며, 실제 설치한 태양광 발전시스템을 통하여 최대전력점 제어방식을 고찰하였으며, 태양광 발전시스템에 활용하고 있는 계통연계형 인버터의 특성에 대하여 알아보았다. 계통연계형 인버터는 전력의 변동에 대하여 정전압의 높은 신뢰성을 보장할 수 있어야 하며, 계통연계시에 상호협조 관계를 유지하여야 한다. 태양광발전시스템의 경우 여러 가지 요인을 보면 모듈의 성능저하, 직렬접속의 불균일과 PCS의 리액터와 변압기의 선정 및 설계시 최적화 문제 등의 요인을 볼 수 있다. 따라서 태양광발전시스템의 성능과 효율을 향상시키기 위하여 실제 설치된 시스템을 통하여 장기간 데이터를 취득하고 이 데이터를 분석하여 위와 같은 여러 가지 문제점에 대한 대책기술과 더 많은 연구를 수행할 계획이다.

[참고 문헌]

- [1] T.Sugiura, T. Yamada, H. Nakamura, M Umeya, K Sakutam, and K. Kurokawa, " Measurements, analyses and evaluation of residential PV systems by Japanese monitoring program" Solar Energy Materials & Solar Cells, Volume 75, Issues 3-4, lpp. 767-779, 2003
- [2] 김시완, "태양광발전시스템의 MPPT제어 알고리즘 고찰", 금오공과대학교 대학원, 2003.11
- [3] 유권중, "태양광발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회, 제 8권 4호, 2003.8
- [4] 소정훈, 정영석, 유권중, 최주엽, 최익, "3KW급 태양광발전시스템의 성능특성 및 평가분석", 대한전기학회논문, 52B권 8호, 509~515, 2004. 8
- [5] 최항석, 김주대, 조보형, "영전류 스위칭 계통 연계형 태양광 발전 인버터", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2000.7
- [6] 전영수, 김정태, "단상 PWM 컨버터의 역률 및 고조파 보상을 위한 교류전압 검출기가 없는 새로운 제어기", 명지대학교 전기정보제어공학부
- [7] 박정민, "3kW 계통연계형 태양광발전시스템의 실증 운용특성", 조선대학교 대학원, 2004.2