

# 태양광 발전(Photovoltaics)의 설계, 감리 및 유지관리



글\_ 이현화 (회원 No.8532)  
(주)한빛디엔에스 대표이사/공학박사, 기술사

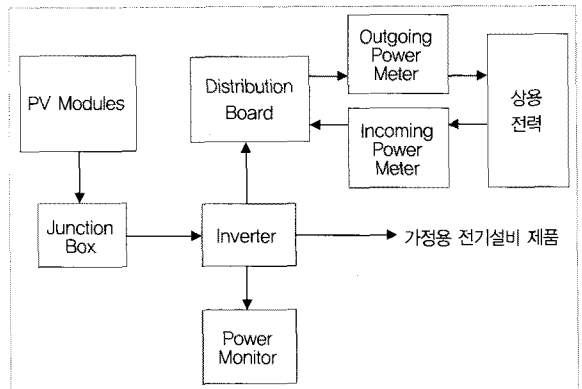
◆ 9월호부터 연재된 내용입니다.

## 다. 태양광 발전 시스템

### 1) 태양광 발전 시스템의 구성

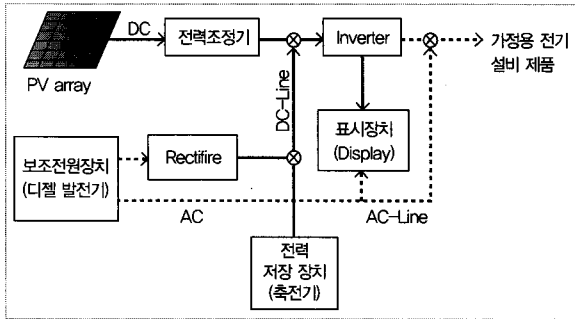
태양광 발전은 반도체 소자인 태양전지를 이용하여 광 에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 새로운 발전방식이다. 이러한 발전방식은 운전이 용이하고 운전관리비를 최소화 할 수 있으며, 설치 또는 이동이 용이한 규격화된 모듈 구조이기 때문에 적용성이 뛰어난 등 여러 가지 장점을 갖고 있다. 특히 보편적인 자원으로 지역적 편재성이 적고, 지구의 어디에서도 이용 가능하며, 연료를 수송할 필요가 없고 오지에서도 설치가 가능하다는 것이 특징이다. 이와 같이 현장에 설치하게 됨으로 송전 손실이나 비용을 절감할 수 있으며 또한 몇 개의 시스템이 동작되지 않아도 전체 전력 시스템에 파급 효과가 낮아 시스템의 신뢰도가 높다. 그러나 지표면에 떨어지는 태양 에너지는 단위 면적당 출력이 적어 이를 활용하기 위해서는 넓은 면적이 소요되는 저밀도 에너지원으로서 전력용으로 사용하기 위해서는 넓은 면적이 필요하고 또한 기상조건 특히 일사 조건에 따라서 발전량이 민감하게 변하는 문제점을 갖고 있다.

그림 2.17에 보인 간단한 태양광 발전 시스템은 전기를 생성하는 PV 모듈과 심야나 우천 등에도 전기를 사용할 수 있도록 축전하는 축전지, 그리고 발전된 직류를 교류로 변화해주는 인버터 및 감시 장치로 구성되어 있다. 또한 기상 악화가 장기화되거나 장비의 고장 등의 경우를 대비하여 디젤 발전기를 추가로 포함하는 PV 발전시스템을 구성할 수 있다.



【그림 2.17】 간단한 태양광 발전 시스템

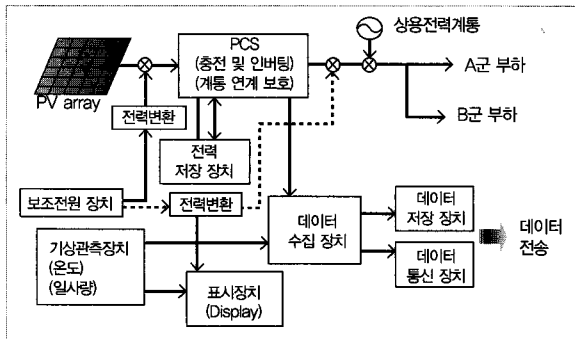
태양광 발전 시스템은 크게 독립형과 계통 연계형으로 구분된다. 독립형 태양광 발전 시스템은 지역 계통과 연결하지 않고, 발전된 전력을 그대로 현지에서 사용하는 시스템이다. 이 시스템은 일반 상용 전기가 공급되지 않은 외딴 지역이나 특수한 목적으로 설치된 설비의 전력 지원을 위해 사용된다. 계통 연계형 태양광 발전 시스템은 지역 전력 계통 회사와 연결하여 일사량이 많은 날에는 PV 어레이에서 발생된 직류전력을 교류로 전환하여 가정의 각 전기설비 제품에서 소비하고 남은 잉여분에 대해서는 전력선을 통하여 지역 전력계통 회사에 판매할 수 있다. 구름이 있는 흐린 날에는 부족한 전력은 전력계통 회사로부터 전력을 공급을 받아 보충하는 전력 시스템이다. 그림 2.18은 독립형 태양광 발전시스템의 일반 적인 구성이고, 그림 2.19은 계통 연계형 태양광 발전시스템의 일반



【그림 2.18】 독립형 태양광 발전 시스템

적인 구성을 나타내고 있다.

계통 연계형 태양광 발전시스템은 일반적으로 감시·제어장치, 전압제어·역류방지회로 및 연계장치 모두가 1대의 전력조절기에 내장되어 있지만 인버터와는 구분한다. 그러나 수 kW정도 용량의 시스템에서는 일반적으로 전력조절기가 인버터에 포함된다. 또한 계통 연계형 태양광 발전시스템은 전력을 부하에 공급할 때, 부족 전력은 상용 전력계통에서 공급받고 잉여전력은 상용 전력계통에 공급하는 역조류(reverse drift current) 기능을 갖는 시스템이다. 따라서 일시적인 잉여전력이 발생하더라도 언제나 태양광 발전전력보다 부하가 큰 경우에는 역조류를 허용하지 않을 경우를 고려하여 역조류 릴레이(relay)가 필요하다.



【그림 2.19】 계통 연계형 PV시스템의 일반적인 구성

연계형에서 역조류가 가능한 시스템에서는 계통이 축전지를 대신할 수가 있기 때문에 기본적으로 축전지를 설치할 필요는 없다. 한편, 계통 연계형에서도 역조류를 하지 않는 경우에는 태양전지 출력의 잉여분을 저장하기 위해서는 축전지가 필요하게 된다. 역조류 가능한 경우에도 태양광 발전시스템의 출력변동을 억제할 필요가 있을 때나, 발전 출력의 peak를 지연시

킬 필요가 있을 때는 전력저장용 축전지의 설치가 필요하게 된다.

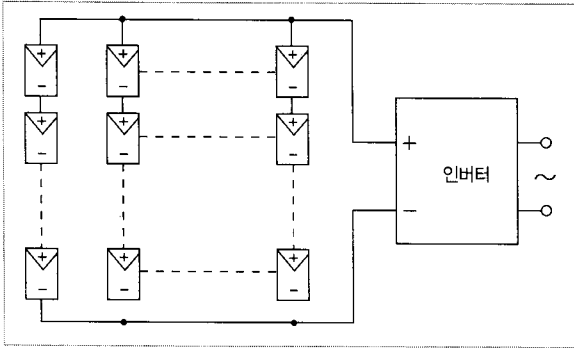
## 2) 태양광 발전시스템의 종류

태양광 발전시스템은 PV 어레이의 형태, 집광유무, 태양전지의 규모, 부하형태와 이용방법에 따라 여러가지로 구분한다. PV 어레이의 형태에서는 tracking 어레이와 고정형 어레이가 있으며, tracking 어레이는 PV전력의 발전효율을 극대화하기 위한 방법이다. 즉, 태양의 직사광선이 항상 태양전지판의 전면에서 수직으로 입사할 수 있도록 제어장치를 이용하여 태양의 위치를 추적해 가는 방식으로 추적방향에 따라 단방향 추적방식과 양방향 추적방식이 있다. 또한 태양을 추적하는 방법에 따라 sensor 방식, 프로그램 제어방식, 혼합형 추적방식이 있다. 최근 추적방식을 개선하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 모두 최대 전력점 전압을 정격전압에 가깝도록 추적하는 방식이다. 이들 추적방식 중에 sensor 방식은 태양의 추적방식이 sensor를 이용하여 최대 일사량을 추적해 가는 방법으로 sensor부의 종류와 형태에 따라서 오차가 발생하기도 한다. 특히 태양이 구름에 가려 부분 음영이 발생할 때는 sensor부의 정확한 태양 궤도 추적을 기대할 수 없다. 프로그램 제어방식은 어레이의 설치 위치에서 태양의 년 중 이동궤도를 추적하는 프로그램을 내장한 컴퓨터 또는 마이크로-프로세서를 이용하여 프로그램이 지시하는 년-월-일에 따라 태양의 위치를 추적하는 방법이다. 비교적 안정되게 태양의 위치를 추적해 나갈 수 있으나 설치 지역의 위치에 따라 프로그램의 보완 수정이 필요하다. 혼합형 추적방법은 프로그램에 의한 추적 방법과 설치위치에 따른 미세적인 편차를 sensor를 이용하여 주기적으로 수정해 주는 방법이다.

## 3) 인버터의 구성방식

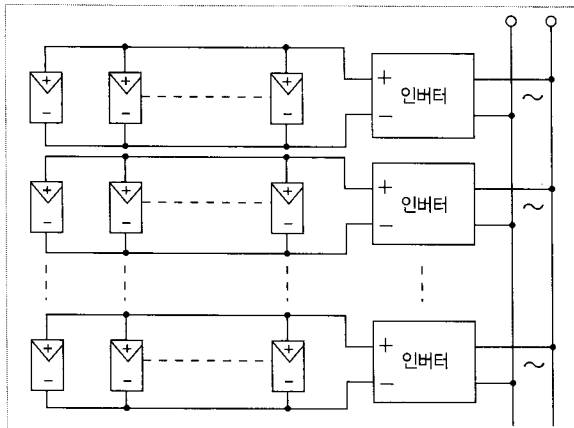
### 가) 중앙 집중식 인버터

저전압방식의 인버터 전압범위는  $VDC \leq 120(V)$  정도의 어레이 시스템을 나타내는 것으로 통상 3~5개의 모듈을 직렬을 이루고 그의 직렬을 병렬로 연결하는 그림 2.20와 같은 방식이다. 긴 스트링과 비교할 때 짧은 스트링은 큰 음영이 생기는 모듈이 전체 직렬회로의 전류를 결정하기 때문에 음영의 영향을 덜 받는 이점이 있다. 따라서 이들의 손실은 음영이 있는 스트링의 수에 따라 달라진다. 그러나 이 방식의 단점은 전류



【그림 2.20】 중앙 집중식 저전압 인버터의 어레이 개념

값이 매우 크기 때문에 상대적으로 저항손실을 줄이기 위해 케이블 단면적을 크게 해야 한다. 박막-필름(film)형 셀을 사용하는 모듈은 각각의 모듈을 그림 2.21과 같이 병렬로 연결하여 한다.



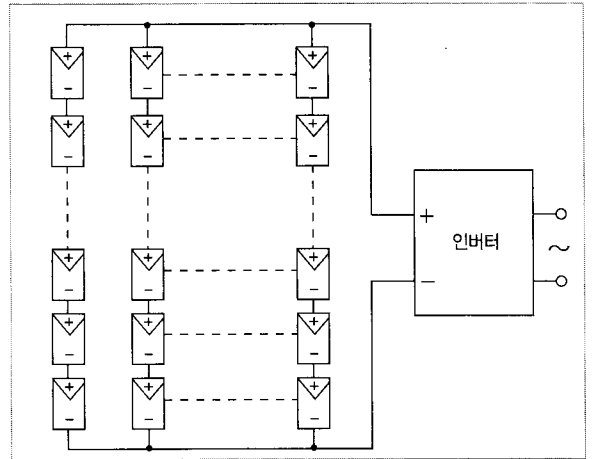
【그림 2.21】 저전압 병렬식 인버터방식의 어레이 구성

이처럼 저전압 어레이 구성의 개념은 병렬 인버터의 연결방식의 개념으로 전류가 매우 크기 때문에 저항손실을 줄이기 위해서는 어레이 설계 시에 배선작업을 신중히 한다.

#### 나) 고전압 방식의 인버터와 어레이

모듈의 긴 스트링에 의해 구성되며 VDC≤120(V) 이상의 고전압 어레이시스템에 적용한다. 이 시스템 장점은 낮은 전류이기 때문에 케이블의 단면적은 작지만, 모듈이 긴 스트링으로 연결되어 있으므로 음영 손실은 증가할 수 있다.

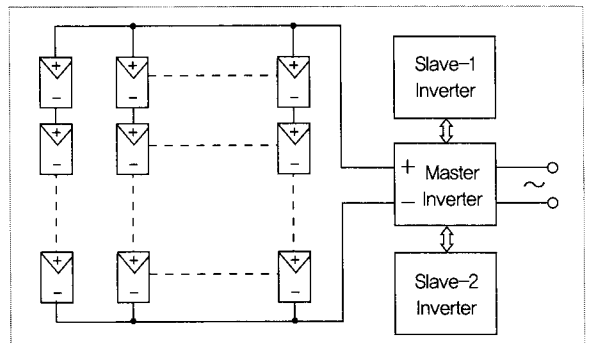
그림 2.22은 고전압 중앙 집중식 인버터와 어레이 연결 방법을 보여주고 있다. 따라서 고전압 어레이의 개방전압이 인버터의 입력 전압 범위를 벗어나지 않도록 어레이를 설계한다.



【그림 2.22】 고전압 중앙 집중식 인버터와 어레이 구성의 개념

#### 다) Master-Slave 제어형 인버터

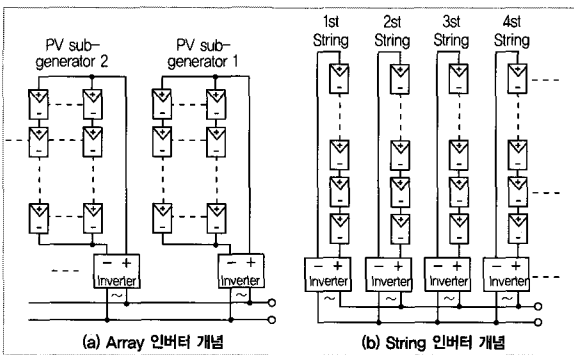
일부 대규모 태양광 발전 시스템은 마스터-스레브(master-slave) 제어 방식을 채용한 중앙 집중식 인버터를 사용한다. 이 방식은 가끔 여러 개의 중앙 집중식 인버터(2~3개)를 사용하게 되며, 총 출력은 크기에 따라 인버터의 개수에 의해서 분리되기도 한다. 따라서 일사강도가 낮을 때는 한 개의 인버터를 마스터로 놓고 운전한다. 만약 일사강도가 증가하면 마스터 인버터는 출력의 한계까지 그의 능력이 도달되어 스레브(보조) 인버터(slave)를 연결하게끔 한다. 인버터의 부하를 동등하게 하기 위해서는 마스터 스레브의 인버터는 규정된 주기(cycle)에 의해 서로 교체(change)를 한다. 마스터 스레브 방식의 장점은 일사강도가 낮을 때나 부분적으로 저출력이 될 때, 한 개의 인버터로 중앙 집중식으로 운전하는 것 보다 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 초기 투자비용은 중앙 집중식 인버터보다 증가하는 것이 문제이다.



【그림 2.23】 중앙 집중식 인버터의 마스터 스레브 제어방식

라) 어레이-인버터와 스트링-인버터

태양광에 따라 서로 다르게 배치한 PV 어레이 시스템 또는 음영이 있는 어레이 시스템에서는 일사조건의 차이에 따라 의존하는 스트링 인버터의 개념이 중요하다. 가끔 태양광 발전 시스템에서는 어레이마다 또는 스트링마다 인버터를 사용한다. 이 방식은 비슷한 방위조건 또는 음영조건을 갖는 모듈들이 한 개의 스트링에 함께 연결되어 있는가를 주의 깊게 확인해야 한다. 매우 긴 스트링에서는 최소 입사각도에 의한 음영이 모듈 전체의 스트링 전류로 결정되므로 매우 큰 출력손실을 발생시킨다.



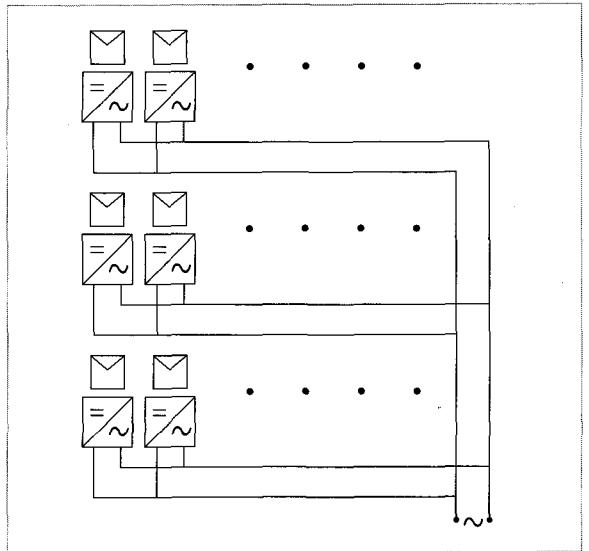
【그림 2.24】 어레이와 스트링 인버터의 개념

스트링 인버터를 채용한 태양광발전 시스템의 설치는 초기 설치비용이 적다는 이점이 있다. 인버터는 가끔 태양광 발전시설 가까운 곳에 설치하기 때문에 약 0.5~3.0k(W)의 가용 출력으로 스트링에서 스트링으로 연결된다. 따라서 설치장소를 선정할 때 인버터는 표준 규격 이상으로 선택해야만 하고, 온도의 변화 또는 습도 등의 기상 상태에 따라 고장과 수명에 영향을 끼치므로 인버터는 직사광선과 빗물로부터 보호되어야 한다. 인버터가 모듈 스트링에 직접 연결될 때에는 다음과 같은 스트링 인버터의 이점과 중앙 집중식 인버터의 특징들을 비교하여 비용절감이 되도록 해야 할 것이다. 첫째는 태양광 발전 시스템의 연결 상자가 생략되어야 하는가, 둘째는 직렬 연결되는 케이블이 얼마나 절약되는가, 셋째는 직류 메인 케이블의 길이는 얼마나 절약 되는가 등이다.

마) 모듈 인버터

고효율 태양광 발전 시스템의 필요조건은 인버터가 PV 모듈의 MPP(최대 전력점)에 최적으로 조정되어야 한다. 이상적으로는 모든 모듈이 MPP에서 지속적으로 운전 되어야한다. 따라서 MPP의 최적조건은 PV 모듈과 인버터가 한 유니트(unit)

로 구성되어 있으면 매우 효과적이고, 이것을 모듈-인버터 단위 또는 AC모듈이라고 한다. 보통 소형 태양광 발전 시스템에서는 이와 같은 모듈 인버터들을 모듈 접속 상자에 내장할 수도 있다. 모듈 인버터의 장점은 태양광 발전 시스템을 용이하게 확장 할 수 있다. 그러나 또 다른 관점에서 보면 확장이 용이하지 않다는 이야기도 있지만 모듈 인버터는 단지 한 대의 인버터 모듈이라도 요구하는 태양광발전시스템으로 확장이 가능하다. 모듈 인버터의 단점은 효율이 작다는데 있다.



【그림 2.25】 모듈 인버터의 개념

모듈 인버터는 중앙 집중식 인버터와 크게 다르지 않다. 더욱이 저효율문제는 모듈이 각각의 MPP점을 최적화시킬 수 있기 때문에 그것으로 보상될 수 있다. 모듈 인버터는 일반적으로 소형이면서 가격이 고가이다. 그러나 대형 인버터보다는 AC모듈의 가격적인 이점이 있으므로 모듈 인버터는 광범위하게 이용되고 있다. AC 모듈을 설치할 때에는 인버터의 고장에 대한 대체품 대책을 확인할 필요가 있으며, 이유는 태양광 발전기의 운전과 고장 및 고장표시의 자료에 대한 기록으로 개별 인버터의 감시를 위한 관리 시스템이 필요하기 때문이다. 따라서 음영과 같은 문제로 PV 어레이의 효율변화를 컴퓨터 PC로 감시할 수 있는 시스템을 제공할 뿐만 아니라 전용 소프트웨어는 자료를 보관할 수 있다. 모듈 인버터의 설치의 가끔 건물의 돌출 부위나 구조적부분에 이유가 있겠지만 태양광이 가려지는 음영 공간이 있는 건물외벽에 설치하는 것이 열 문제에 이점이 있을 것이다.

다음호에 계속 ▶▶