

# 태양광 발전 SYSTEM의 설계 기술



글 이 현 화 (회원 No.8532)  
(주)한빛디엔에스 대표이사/공학박사, 기술사

◆ 9월호부터 연재된 내용입니다.

## I. 개요

### 1. 서론

태양광 발전 SYSTEM은 모든 사람이 너무 쉽게 생각하는 것 같다. 태양광 발전 SYSTEM을 완벽히 설계하고자 한다면 물리학, 공업수학, 물성공학, 전자공학, 전기공학, 구조역학, 건축공학, 토목공학, 경제성공학등의 기초공학을 이해 할 수 있어야 한다.

태양광 발전의 성공의 키는 사전타당성 조사일 것이다. 경제성이 있는지, 법적규제는 없는지 또한 민원의 발생소지는 없는지 등 이며 문제 발생 시에 해결 방법은 무엇인지 등이다.

태양광 발전의 설계는 모듈 직병렬 연결과 인버터 연결이 핵심이지만 아무리 효율 좋은 모듈, 인버터를 선택할지라도 매칭이 잘못되면 아무소용이 없다.

10kWp 이상의 태양광 발전 시설은 법에 의해 설계와 감리를 시행 하도록 되어 있다. 그러나 설계와 감리를 하지 않고 시공사 또는 자재업체에 일괄로 발주하고 있는 곳이 많다. 설계와 감리는 전력기술관리법에 등록된 업체만이 설계할 수 있으며 만약 등록되지 않는 업체인 시공사 또는 자재공급업체가 설계한다고 하면 이 법의 위반이며 벌칙이 가해진다. 또한 효율의 저하 등 많은 문제점이 발생되고 있다. 본고에서는 기본설계에

서 고객과 상담, 사전 타당성 조사 부분과 실시 설계에서 자재 선정 환경성검토, 구조물배치, 건축등 순으로 설명하고자 한다.

### 2. 기본설계(기획)

#### 2-1 현장 실사와 부지 조사

계통연계형 PV 시스템의 계획을 하고 견적서를 작성하려면 현장실사가 필수적이다. 현장실사로 PV 시스템의 기본 상태를 평가할 수 있다.

첫째, 건물에 PV 시스템 설치의 적합 여부를 결정하는 일이 중요하다. 철저한 초기조사는 계획상의 오류와 제출되는 견적서의 계산착오를 방지한다. PV 어레이, 설치부지 (예를 들어 인버터 용), 배선 경로, 케이블의 실제 부설 그리고 계량기 및 송전계통의 확장 또는 수정을 위한 설치 작업은 고객과의 상담을 통해 정확한 예측을 할 수 있다.

계획을 진행하기에 앞서, 고객이 예상하는 비용이 어느 정도 인지를 물어봐야 하고 가능한 설치비의 대출 부분도 고려해야 하는데, 이는 시스템의 크기에 결정적인 영향을 미치게 되기 때문이다. 온 루프 설치 작업의 경우, 견적은 지붕 구조를 잘 아는 사람으로부터 얻을 수 있다. 루핑 회사의 선택은 건물 소유주와 합의되어야 한다.

다음 항목들은 현장을 실시하고 데이터를 기록하는 동안 염두에 두어야 한다. 이 항목들은 성공적인 계획을 위한 기초가 된다.

- 모듈 유형, 시스템 개념 및 설치 방법에 관한 고객의 희망 사항
- 원하는 PV 전력 또는 발전량
- 각각의 시설비의 대출 조건을 고려한 재정적 구조
- 사용가능한 지붕, 파사드 및 개방 공간 표면
- 지형의 조건
- 방향과 경사각
- 지붕 형태, 지붕 구조, 지붕 하부구조 및 지붕의 유형
- 사용가능한 지붕 개구부 (통풍구 타일, 자유로운 굴뚝 연통, 등)
- 음영에 대한 데이터
- PV 분전함, 차단 시설 및 인버터를 위한 설치 부지
- 계량기 함 및 여분의 계량기를 둘 공간
- 케이블 길이, 배선 방향 및 배선 방법
- PV 어레이 설치에 장비가 필요한 경우 장비로의 접근 (크레인, 비계 등)
- 전기실의 설치 위치
- 송전선로의 조건(3M이하의 경우 선로에 연결 가능 여부)

부지탐사용 정보 체크리스트는 본 장 끝부분에 설명된다. 이 체크리스트는 현장회의에서 자료를 기록하는데 도움이 된다. 체크리스트를 출력하여 현장 조사에서 직접 정보를 기입할 수도 있다.

계획에 도움을 주고 보조금 신청과 전력거래소에 발전기 등록에 필요한 문서들은 다음과 같다.

- 건물의 방향을 확인하는 부지 계획
- 지붕 경사, 사용가능한 면적 및 케이블 길이를 확인하기 위한 건물의 건축 도면
- 지붕과 전력량계 위치의 사진

현장 회의에 도움이 되는 것으로 항목들을 다음과 같다.

- 건물 조사를 기록하기 위한 체크리스트
- 태양광발전에 대한 정보
  - 관련이 있을 수 있는 발전 차액에 대한 일반 정보

- 기업 안내서 및 제품 설명서
- 기존 PV 시스템의 사진
- 본 책 및 태양광 발전 SYSTEM 설계 및 시공

- 나침반
- 지붕 경사를 알아내기 위한 연추가 있는 분도기
- 접이식 자
- 휴대용 토치 (회중전등)
- 음영분석용 아세테이트 태양궤적도
- 카메라

## 2-2 고객과의 상담

태양광발전 시스템의 계획과 건설은 일반적으로 고객의 상담에 의해 개시된다. 견적은 물론 고객과의 상담은 태양광발전 시스템의 건설을 위탁하기 전에 중요하고도 필수적인 단계이다.

PV 설치자는 고객과 대화를 나눌 때 고객의 기대와 희망사항을 인지해야 한다. 이 경우에 상담은 무엇보다도 먼저 고객이 결단을 내리는 것을 돕는 것으로 이루어진다.

태양광 기술의 경우 고객에게 전달하는 전문가의 조언은 결정적이다. PV 설치자는 태양광발전 시스템의 구조, 기능, 크기 및 설치에 관한 기술적 지식은 물론, 태양광의 발전차액 및 세계적 의의에 관한 지식도 구비해야 한다.

상담의 목표는 고객을 대화의 능동적인 협력자로 끌어들이고 그들의 질문에 비전문가도 이해할 수 있는 방법으로 대답하는 것이다. 도면을 설명 보조도구로 사용하면 도움이 될 수 있다.

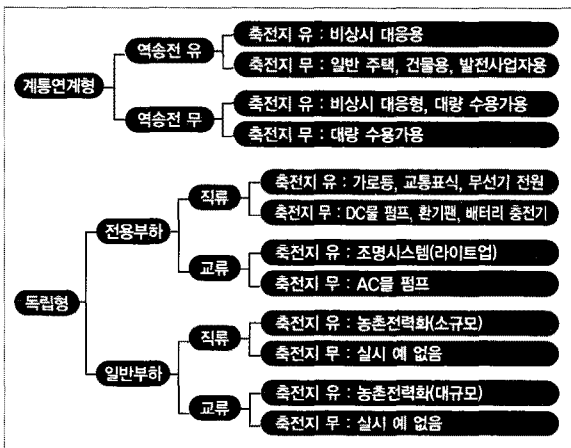
여러분은 고객으로부터 다음의 질문에 대한 대답을 준비해야 할 것이다.

- PV 모듈과 집열판의 차이는 무엇입니까?
- 태양전지는 어떻게 동작합니까?
- 이 시스템이 일 년 동안 생산할 발전량은?
- 해가 나지 않을 때 전원공급장치는 어떻게 됩니까?
- 구름이 끼었을 때 시스템이 생산하는 발전량은?
- 발전된 전력은 어디에 사용됩니까?
- 킬로와트 피크 (kWp) 전력이란 무엇입니까?
- 우리 집 (회사, 건물) 지붕이 이런 시스템을 설치하기에 적합합니까?
- 눈이나 먼지 등이 쌓여 모듈이 더러워지면 어떻게 됩니까?
- 모듈이 우박으로 손상될 수 있습니까?
- 태양 추적 모듈을 설치하는 것이 가치 있습니까?

- 검정색과 파란색 외의 다른 색상의 모듈은 없습니까?
- 인 · 허가를 계획할 필요가 있습니까?
- 설치비를 포함해서 이 시스템에 드는 비용은 어느 정도입니까?
- 보조금을 받을 수 있습니까?
- 내가 보조금을 신청할 때 도와줄 수 있습니까?
- 내가 전원계통으로 공급하는 발전량에 대해 받을 수 있는 돈은 얼마입니까?
- 전기 공급에 대해 전력거래소에 신청서를 제출해줄 수 있습니까?
- PV 시스템의 대략적인 투자회수기간은 어느 정도입니까?
- 얻을 수 있는 부대적인 효과에는 어떤 것이 있습니까?
- 고려해야 할 세금에는 어떤 것이 있습니까?
- 시스템에 유지보수가 필요합니까?
- 낙뢰로 시스템이 파괴될 수 있습니까?
- 시스템의 수명은 어느 정도입니까?
- 무상보증 기간은 어느 정도입니까?
- 기타사항

### 2-3 태양광발전시스템 종류의 선정

PV시스템은 시스템의 구성과 부하의 종류 등에 따라 분류된다. 그림 1은 PV시스템의 분류를 나타낸다. 먼저 연계형과 독립형으로 크게 나뉘고, 또 부하의 형태(직류 · 교류) 및 축전지의 유무에 따라 분류된다. PV시스템의 도입시에는 용도에 따라 이 중에서 적절한 시스템 구성을 선택하게 된다. 이에 대표적인 시스템인 계통연계형 시스템과 독립형 시스템의 형태에 대해서 설명을 하도록 하겠다.



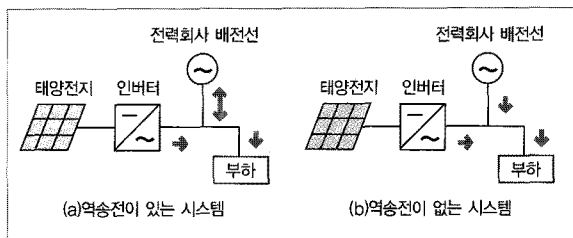
【그림 1】 태양광발전시스템의 분류(예)

### (1) 계통연계형 시스템

역송전이 있는 시스템과 역송전이 없는 시스템으로 나눌 수 있다 (그림 2 참조). 역송전이 있는 시스템은, PV시스템에 잉여 전력이 발생했을 때 전력회사가 이를 매입하는 제도를 이용하는 것이다. PV시스템의 출력은 날씨에 의해 좌우되므로 주택 등에서 안정된 전기를 사용하기 위해서는 전력회사의 전력계통과 연계하여 운전할 필요가 있다. PV시스템의 출력이 구내의 부하에 대해 부족할 경우에는 부족분이 전력회사의 배전선에서 흘러들어오고, 반대로 PV시스템의 출력에 잉여가 생기면 전력회사의 배전선으로 역송전하여 전력회사가 이를 매입하게 된다. 현재, 주택용 PV시스템에서 사용되고 있는 방식은 대부분이 역송전이 있는 시스템이다. 또한, 국내에서는 적용되고 있지 않으나, 정전시의 비상용 부하(방송설비, 비상용 조명 등)에 전력을 공급하는 축전지를 설치한 시스템도 있다.

역송전이 없는 시스템은 구내의 전력부하가 항상 PV시스템의 출력보다 크고, 역송전 전력을 발생할 가능성이 없는 경우에 채용된다. 이 시스템에서는 전력회사의 배전선으로 PV시스템의 잉여전력을 역송전시킬 수 없으므로, 역방향 전류가 조금이라도 발생한 경우, PV시스템의 출력을 낮추거나 운전을 정지할 수 있는 역송전 방지 기능이 필요하다.

또한 「분산형 전원 배전계통 연계기술기준」에서는 PV시스템을 연계하는 전력계통의 전압구분에 따라, 설치하는 보호장치 등의 연계요건을 정하고 있는데 태양광 발전기의 용량에 따라 저압연계, 고압연계 등으로 분류된다.

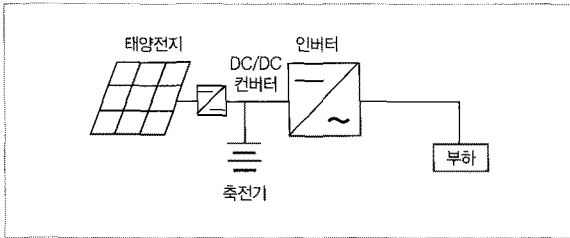


【그림 2】 계통연계형 시스템

### (2) 독립형 시스템

전력회사의 배전선과 연계하지 않는 시스템으로 일반적인 구성은 그림 3와 같다. 이 시스템의 경우, 사용가능한 전력량은 PV시스템의 발전전력량 이하로 제한됨과 동시에, 야간 및 우천시 PV시스템의 발전이 불가능한 경우를 대비하여 축전지를 접속시켜 전력을 비축해 놓을 필요가 있다.

이 시스템은 전력회사의 배전선에서 멀리 떨어진 산악지대 및 외딴 섬 등에서 널리 사용되고 있다. 또한 작은 것으로는 전자계산기등 1W미만인 것에서부터 도로 정보 표시판 등과 같은 수십W에서 수십 kW 시스템에 이르기까지 여러 가지의 다양한 시스템이 실용화 되어 있다.



[그림 3] 독립형 시스템

## II. 태양광 발전 설계기술

### 1. 태양광 발전의 설치 목적 확인

태양광발전을 설치하는 목적이 무엇인지가 잘 파악되어야 경제성 있는 설계가 될 수 있다.

#### 1-1. 상업용

상업용 태양광 발전설비는 대부분 국가 및 지방자치 단체를 제외한 민간인이 발전하여 200kWp이하는 한국전력공사와 그리고 200kWp 초과하는 경우는 한국전력 거래소와 계약 체결하여 발전된 전력을 판매하여 수익을 창출하는 것이다. 국가에서 발전차액을 줄 수 있는 한계용량은 2011년분인 약 80MW정도가 남아있다.

향후 2-3년 후면 주요자재의 기술개발과 단가의 하락으로 인하여 태양광 발전설비의 설치에 발전차액이 주어지지 않아도 충분한 경제성이 있으리라 판단된다.

#### 1-2. 자가용

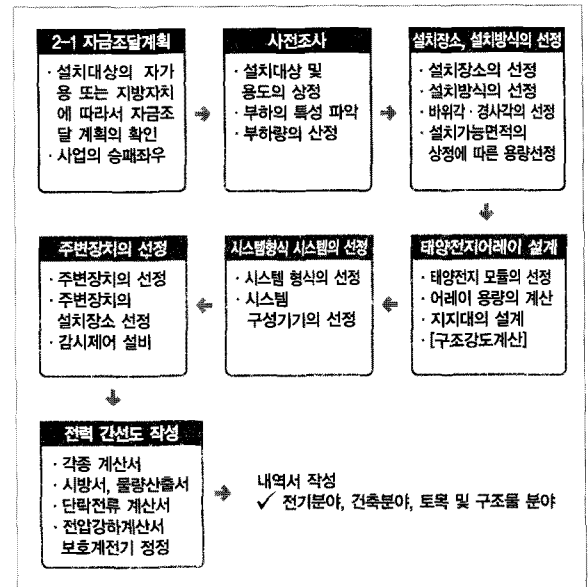
자가용 태양광 발전설비는 지방 자치단체에서 자체의 부하 소비용으로 설치하는 방식으로 국가에서 설치 자금의 일부를 지원 받고 나머지는 지자체에서 자금을 확보하여 설치하는 방식이다.

현재는 잉여전력은 전혀 판매가 불가능하다.

일반 보급 사업은 지방자치단체를 제외한 민간 또는 공사등에서 국가 보조금과 자체자금을 발전소를 설치하여 자체 부하로 사용하는 방식이다. 신축하는 공공건물의 경우는 연면적 3000㎡이상에서는 의무적으로 신재생에너지로 총공사비의 5%를 사용할 수 있도록 하는 방식이다. 그리고 그린 100만호 사업은 각 가정에 3kWp이하를 설치하여 남은 잉여전력은 한전에 돌려보내고 밤에는 한전에서 전력을 공급 받아 쓰는 방식이다.

## 2. 기본설계

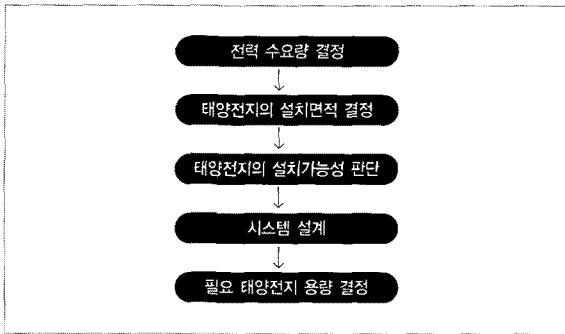
### 2-1. 태양광 발전 설계순서



### 2-2 발전량 산출의 절차

독립전원용 태양광발전시스템(PV시스템)의 설계는 필요로 하는 전력량(부하소비전력량)으로 산출되는 소요 태양전지 용량을 결정하는 것이 표준적인 방법이다(그림 4). 그러나 계통 연계 시스템의 경우에는 발전전력량과 사용전력량 사이에 제한적인 관계가 없기 때문에 설치장소(면적)에 따라 시스템 용량을 결정하는 경우가 많다. 따라서 태양전지의 설치 가능면적을 충분히 조사한 후, 태양전지 용량을 산출하고 시스템 전체의 설계를 하게 된다.

여기서는 먼저 표준적인 사고방식을 설명하고, 계속해서 구



[그림 4] 태양광발전시스템의 설계순서

체적인 사례 대응시의 산출기법을 나타내기로서 한다. 그림 4 태양광발전시스템의 설계 순서 일반적으로 태양전지 용량과 부하 소비전력량과의 관계는 다음 식과 같다.

$$P_{AS} = \frac{E_L \times D \times R}{(H_A / G_s) \times K} \quad \text{식 (5-1)}$$

여기서

$P_{AS}$  : 표준상태에서의 태양전지 어레이 출력 [kW]

표준상태 : AM 1.5, 일사강도 1,000W/m<sup>2</sup>,

태양전지 셀 온도 25℃

$H_A$  : 어느 기간에 얻을 수 있는 어레이면 일사량 [kW/m<sup>2</sup> · 기간]

$G_s$  : 표준상태에서의 일사강도 [kW/m<sup>2</sup>]

$E_L$  : 어느 기간에서의 부하소비전력량 (수요전력량) [kWh/기간]

$D$  : 부하의 태양광발전시스템에 대한 의존률 = 1-(백업 전원전력의 의존률)

$R$  : 설계여유계수 (추정한 일사량의 정확성 등 설치환경에 따른 보정)

$K$  : 종합설계계수 (태양전지 모듈 출력의 불균형 보정, 회로 손실, 기기에 의한 손실 등을 포함)

위 식의 종합설계계수  $K$ 는 다시 여러 계수로 나눌 수 있지만, 여기서는 직류보정계수  $K_d$ , 온도보정계수  $K_t$ , 인버터효율  $\eta_{INV}$ 에 대하여 기술한다.

직류보정계수  $K_d$ 는 태양전지 표면의 오염, 태양의 일사강도 변화에 따른 손실의 보정, 태양전지 특성차에 의한 보정 등이 포함되어 있고,  $K_d$ 의 수치는 약 0.9정도로 되어 있다.

온도보정계수  $K_t$ 는 태양전지가 일사량에 따라 온도가 상승하거나 변환효율이 변화하기 때문에 이를 보정하는 계수로 그 수치는 0.85정도이다.

또한, 인버터 효율  $\eta_{INV}$ 은 태양전지가 발전한 직류를 교류로 변환하는 인버터의 효율로서 보통 0.92정도이다.

이상이 PV시스템의 발전량 설계의 개요이다.

앞서 말한 바와 같이 주택 등에 설치할 경우에는 태양전지 어레이의 설치면적이 한정되어 있으므로 그 면적에서 태양전지 용량을 산출하고, 위의 식을 이용하여 기대되는 발전전력량을 계산한다. 위의 식에서 소비전력량  $E_L$ 을 1일 기대 발전전력량  $EP$  [kWh/일]로 바꾸고, 또한 표준상태에서의 일사강도  $G_s$ 를 1kW/m<sup>2</sup>로 한 다음, 의존률  $D$ , 설계 여유계수  $R$ 을 각각 1로 하면 다음의식이 된다.

$$EP = H_A \times K \times P_{AS} \text{ [kWh/일]} \quad \text{식 (5-2)}$$

이 식에 의하면, 설치장소의 일사량  $H_A$ , 표준 태양전지 어레이 출력  $P_{AS}$ , 종합설계계수  $K$ 를 알면 기대되는 발전전력량을 산출할 수 있다.

여기서는 태양전지 어레이의 변환효율에 대하여 설명한다.

표준상태에서 태양전지 어레이의 변환효율  $\eta$ 은 식(5-1)을 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다. 여기서  $A$ 는 태양전지 어레이의 면적이다.

$$\eta = \frac{EP}{H_A \times A} \times 100[\%] \quad \text{식 (5-3)}$$

태양전지 셀과 태양전지 모듈의 변환효율도 같은 방식으로 계산하며, 간단히 변환효율이라고 부를 때가 많기 때문에 검토시에 이를 구별할 필요가 있다. 일반적으로, 이들 변환효율은 다음과 같은 관계에 있다.

$$(\text{태양전지 셀의 } \eta) > (\text{태양전지 모듈의 } \eta) > (\text{태양전지 어레이의 } \eta)$$