

## 특집

## 부하평준화를 위한 태양광발전시스템

황 인 호

(전력연구원 에너지·환경고등연구소)

## 1. 서 론

태양광발전은 P-N접합 반도체소자인 태양전지에 의해 빛 에너지를 직접 전기로 변환하는 발전방식으로 에너지원인 태양에너지의 밀도가 낮고, 기상조건에 따라 발전특성이 불안정하다는 문제가 있지만, 연료가 필요없어 깨끗한 무공해 일뿐 아니라, 유지보수가 간단하고 규모의 확장성이 용이하기 때문에 새로운 대체에너지로서 가장 실용화에 근접한 기술이라고 할 수 있다.

최근 석탄, 석유와 같은 화석연료 사용에 따른 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등 공해물질 배출로 인하여 지구환경보호 측면에서 크린에너지로서 태양광발전의 필요성이 증대되고 있는 추세일뿐 아니라, 태양광발전시스템이 전력계통에 연계될 경우 계통의 피크전력 저감효과도 기대되고 있다.

본고에서는 분산형전원 형태로 기존 전력계통에 연계하여 부하평준화 효과가 기대되는 태양광발전시스템의 발전 특성과 최대전력수요와의 관계를 중심으로 기술하고자 한다.

## 2. 태양광발전시스템의 개요

## 2-1 태양광발전시스템의 특징

태양광발전은 태양전지라는 반도체를 사용하여 태양의 빛 에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 발전 방식이다. 발전 출력은 직류 출력이므로 보통 직교류 변환장치(인버터)를 사용하여 교류전력으로 변환한다. 즉, 태양광발전은 그 발전의 기본 단위인 태양전지 이외에 직류를 교류로 변환하기 위한 인버터 등, 전력전자기술에 의한 발전 기술이다.

태양전지는 가벼워 어디에도 설치 가능하고, 더구나 일사량은 별로 지역차가 없기 때문에 규모의 大小 및 설치장소의 상이함에 따라 발전 특성이 기본적으로 변하지는 않고, 축전지 및 인버터 등의 주변기기의 조합에 따라 여러가지 이용 시스템 형태가 있을 수 있다.

태양광 발전의 특징으로서,

- ① 태양 에너지의 밀도가 작기 때문에 대전력을 얻기 위해서는 큰 면적이 필요하다는 것
- ② 태양전지로부터의 출력이 직류 이므로, 교류 이용을 위해서는 인버터등 변환장치가 필요하다는 것
- ③ 태양광을 에너지원으로 이용하는 것이므로 자연 조건에 따른 출력 변동이 발생한다는 것

등의 제약이 있는 반면에,

- ① 연료가 필요없어 연료의 연소에 따른 환경 오염의 염려가 없다는 것
- ② 가동부분이 없기 때문에 소음의 발생이 없고, 또 유지보수가 용이하다는 것
- ③ 태양전지는 Module화가 가능하기 때문에 양산화에 적합하고, 또 규모의 Flexibility가 크다는 것

등의 장점을 갖고 있다.

## 2-2 태양광발전시스템의 구성

현재까지 널리 실용화 되어 사용되고 있는 태양광발전 시스템은 대부분이 직류부하를 대상으로한 소규모 용량의 것으로 시스템 구성은 태양전지와 축전지가 결합되어 있는 간단한 형태이지만, 본격적인 전력용으로서의 일반적인 시스템은 교류부하를 대상으로 한 것이 많고, 전력계통과의 연계가 고려되고 있다.

태양광발전 시스템의 구성은 그 이용 형태에 따라 다르지만, 기본구성은 그림 1과 같다.

태양전지 어레이는 원하는 직류전압, 전류를 얻기 위하여 그에 맞도록 여러개의 태양전지를 직·병렬로 접속한다. 직류부하만 있을 경우는 이것에 축전장치(일반적으로 연축전지가 사용)가 접속될 뿐이지만, 교류부하를 대상으로 한 경우는 반드시 인버터가 필요하다.

태양광발전시스템은 전력계통과의 연계 유무에 따라 크게

독립형 시스템과 계통연계시스템으로 분류할 수 있고,

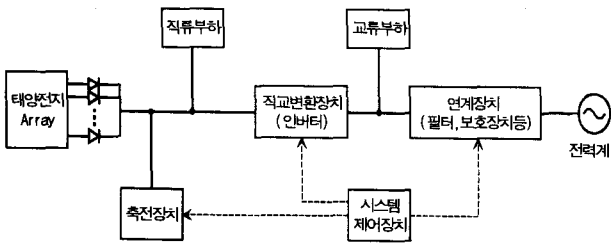


그림 1. 태양광 발전시스템의 구성도

전력계통과 연계할 경우에는 별도의 연계장치가 필요하게 된다.

독립형 시스템과 계통연계형 시스템은 태양광발전의 특성을 고려하여 시스템의 이용형태별로 구분하면 아래와 같이 분류할 수 있다.

- 독립형 시스템
  - 각 시설, 기기 독립 : 등대, 중계소, 인공위성 등
  - 집단 독립 : 도서, 산간 벽지 전원
- 계통연계형 시스템
  - 분산형 시스템 : 주택, 빌딩등의 옥상
  - 집중형 시스템 : 대규모(수 MW급) 발전시스템

표 1은 이용형태별 시스템 구성예를 각 구성기기의 유무에 따라 분류한 것이다.

표 1. 이용형태별 주변장치 구성

용도	축전지	직교변환장치	상용전력계통과의연계
등대, 무선 중계소, 가로등 전원	○	○ or ×	×
직류 펌프에 의한 관계시스템	×	×	×
교류 펌프에 의한 관계시스템	×	○	×
산간벽지, 도서지역 전원시스템	○	○	×
주택, 빌딩용 및 MW급 시스템	×	○	○

주) ○ : 필요, × : 불필요

### 3. 시스템 발전특성

그림 2의 태양전지 등가회로에서 출력전압과 출력전류의

관계를 수식화하면 다음 식이 된다.

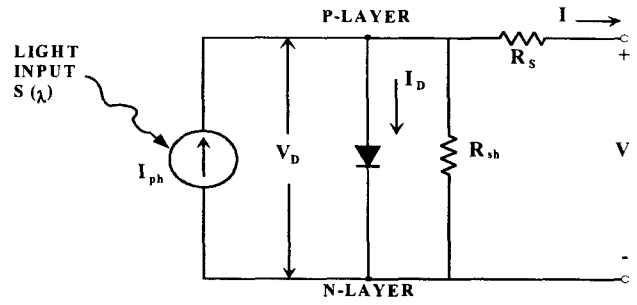


그림 2. 태양전지 등가회로

$$I = I_{ph} - I_0 \{ \exp q(V + IR_s) / A_0 K T - 1 \} - (V + R_s I) / R_{sh} \quad \text{①}$$

여기서,  $I_{ph}$ : 광기전류,  $I_0$ : 다이오드 포화전류,  $R_s$ : 직렬저항,  $R_{sh}$  병렬저항,  $A_0$ : 다이오드 계수,  $K$ : 볼츠만 상수,  $q$ : 전자의 전하량이다. ①식에서 알 수 있듯이 태양전지의 전류-전압의 관계는 비선형이다. 이 I-V특성은 태양전지의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 일반적인 I-V 및 P-V 곡선은 그림 3과 같다.

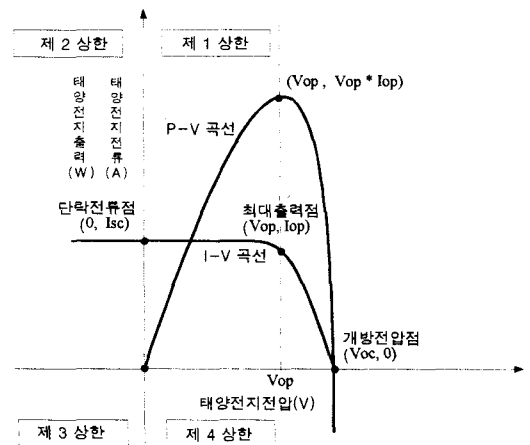


그림 3. 태양전지의 I-V, P-V특성

그림 3에 보이는 것처럼 태양전지에는 출력전력이 최대가 되는 동작전압이 존재하고, 이에 따라 전압이 낮은 영역에서는 정전류원적인 특성이 되는 한편, 전압이 높은 영역에서는 정전압원적인 특성을 갖는다. 최대출력 동작전압은 일사강도에 크게 의존하지 않지만, 태양전지의 동작온도에 크게 의존하여 온도의 상승에 반비례하여 감소하기 때문에 최대출력도 감소한다.

따라서 태양전지의 출력을 최대로 하기위한 최대출력 추종제어(Maximum Power Point Tracking, MPPT)는 직류 추 전압제어에 의해 가능하고, 이 경우 그림 4에 보이듯이

태양전지 출력은 일사량에 비례한다.

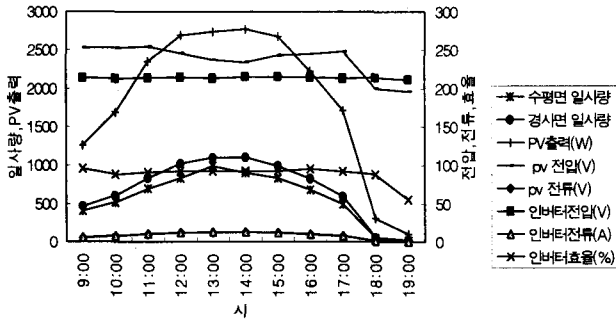


그림 4. 계통연계 태양광시스템의 발전특성

4. 태양광 발전시스템의 피크전력 저감효과

4-1. 전력수요 변화추이

국내의 전력수요는 '80년대 이후 연평균 10%이상의 증가율을 보였고, 하계 최대수요는 최근 '90~'94년 기간중 연평균 11.5% 증가하였으며, 이러한 하계 최대수요의 증가는 소득증가에 따른 기본적인 전력소비량의 증가추세와 특히 냉방수요의 증가에 기인하는 것으로 분석되고 있다.

'80년대 이후 급격히 증가하기 시작한 하계 냉방부하는 그 특성상 하계 주간시간에 집중적으로 발생하여 공급예비율과 부하율을 악화시키는 요인으로 작용하여 전력이용의 효율성을 저하시키고 전체적인 에너지 공급비용을 상승시키는 요인이 되고 있다. 이처럼 매년 여름철에 발생하는 최대 전력수요는 일정한 추세로 증가하고 있는 기본부하와 하계 기상요인에 따라 큰 변동폭을 갖는 냉방부하로 나눌 수 있으며, 한전 전력경제처에서 분석한 냉방부하 및 최대부하 예측결과에 따르면 그림 5에 보이는 것처럼 냉방부하의 점유율이 20% 이상이 될 것으로 예상하고 있다.

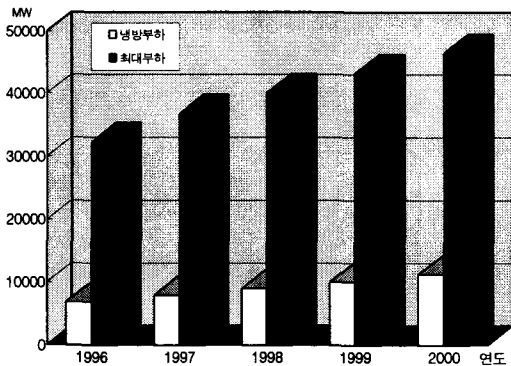
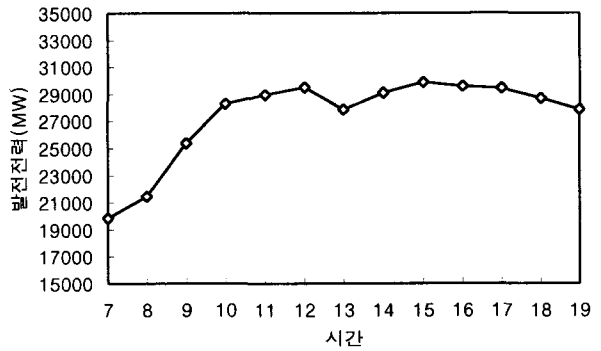


그림 5. 하계부하 예상추이

4-2. 최대전력수요와 태양광발전과의 관계



태양광발전출력은 앞절에서 설명하였듯이 일사량에 가장 그림 6. 시간별 발전실적('95. 8. 18 최대부하발생일)

큰 영향을 받기 때문에 태양광발전시스템의 하계 최대전력 저감효과는 하계 전력공급 데이터 및 일사량 데이터를 비교함으로써 대략적인 분석이 가능하다. 과거 수년간의 전력수급 데이터를 분석해 보면 전력수요는 8월중 15시에 최대치를 기록하여 왔다. 최대전력 발생일의 전력수요패턴은 그림 6의 '95년 8월 18일의 실적치로부터 피크발생은 15시이고, 오전 9시부터 10시까지 비교적 급격히 증가하며, 그 후 13시를 제외하고는 15시까지 서서히 증가하는 경향이 있다. 15시이후 시간에 따라 감소하지만 17시까지는 크게 변화하지 않고 피크치에 가까운 값을 유지하는 경향이 있다.

한편, 최대전력수요가 발생한 '95년 8월의 시간별 일사량 변화는 그림 7에 보이는 것처럼 12시~13시를 정점으로한 비교적 완만한 곡선형태를 나타낸다. 이러한 일사량 변화는 전력수요패턴과 비교하면 피크시간대에 있어서 2~3시간 정도 차이가 있어 전력수요특성이 일사량보다 늦게 최대치에 도달하는 경향이 있음을 보여준다.

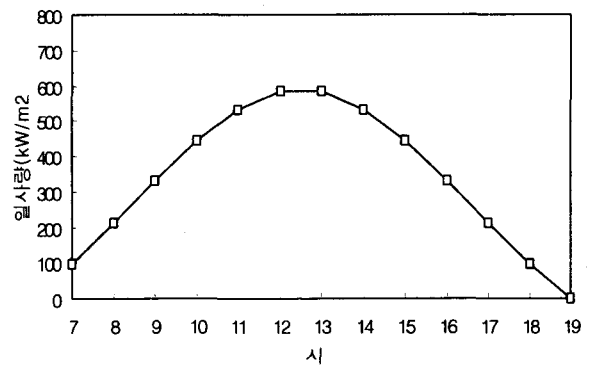


그림 7. 시간별 일사량('95. 8월 평균치, 대전)

4-3. 피크전력 저감효과

시간별 전력수요 데이터와 일사량 데이터의 관계를 이용하면 최대 전력수요 발생일에 있어서 태양광 발전시스템의 피크전력 삭감량을 추정할 수 있다. 여기서 일사량 데이터

는 전천일사량이기 때문에 이에 따라 시스템의 발전출력을 구하기 위해서는 옥상 등과 같은 실제 설치지역에 있어서 태양전지 어레이의 설치방향, 경사각을 고려하여 일사량을 보정하지 않으면 안되지만, 간단히 하기위해 여름철 전천일사량과 경사면 일사량이 별차이가 없기 때문에 대전지역의 전천일사량 데이터를 전국 평균으로 가정하였다.

따라서 태양광 발전시스템의 출력은 단순히 전천일사량에 비례하여 전천일사량이 1 kW/m<sup>2</sup> 인 때에 정격출력이 나오는 것으로 계산하였다. 8월 평균일사량 데이터로부터 최대 전력수요가 발생하는 15시의 피크전력 삭감효과는 전체 태양광발전 설비용량의 45%정도 인 것을 알수 있고, 이 일사량 데이터가 흐린날을 포함한 평균치이고 보통 맑은날 최대 전력이 발생한 것을 고려하면 피크삭감효과는 태양광발전설비용량의 최소한 50%이상 이 될 것이다.

구체적인 피크삭감의 정도는 태양광 발전시스템의 보급량에 따라 결정되고 3 kW 주택용시스템을 100만 가구에 보급하였을 경우를 가정하면 계통의 피크전력을 150만 kW 이상을 삭감할 수 있을 것으로 예상된다.

또한 전력수요와 일사량은 비례관계이기 때문에 축전지 설치가 반드시 필요하지는 않지만 2~3시간의 시간차를 고려하여 잉여전력저장이 가능한 축전지를 설치함으로써 부하 평준화용 전원으로써 적용가능성을 더욱 높일 수 있다. 그러나 용량이 큰 축전지의 설치가 필요하므로 가격 및 설치공간 증가 등의 문제가 발생하여 현실적으로 실용화 보급을 위해서는 이에 대한 보다 면밀한 경제성 검토 등이 필요하다.

### 5. 결 론

향후 태양광발전시스템은 깨끗한 대체에너지원으로서 가장 널리 보급될 것으로 기대되고 있다. 특히 일반주택 및 빌딩의 옥상에 설치될 소형 계통연계 태양광발전시스템은 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원으로서 뿐 아니라, 전력계통의 피크전력을 삭감할 수 있는 것으로 평가되고 있다. 하계 최대전력수요 발생일의 전력수급 데이터 및 8월의 평균 일사량 데이터를 이용한 태양광발전의 피크전력 저감효과는 총 태양광발전 설비용량의 약 50%정도가 삭감될 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 태양광발전 보급의 가장 큰 장애요소인 경제성은 기존 전원과의 단순한 발전단가 비교가 아니라, 크린에너지로서 환경보전측면과 계통의 부하 평준화효과등 부수적인 이점을 포함한 다각적인 비교 검토가 필요할 것으로 사료되며, 신에너지 전원의 실용화보급 촉진을 위한 법률개정, 보급사업확대 등 정부의 적극적인 검토가 요망된다.

### 참고문헌

- [1] 황인호 외, "계통연계 태양광발전시스템의 운전특성분석" 대한전기학회 하계학술대회. pp 1945~1947, 1997.
- [2] 한국에너지기술연구소 보고서, "국내 직달일사량의 분석·평가 및 데이터 표준화 연구(IV), 1995.

- [3] 한국전력공사, "하계 냉방부하 특성분석", 1995.
- [4] CRIEPI 보고서, "태양광발전의 피크전력수요 삭감효과", No. T90021, 1992.

### 황 인 호 (黃 仁 豪)



1962년 7월 10일생.  
 1985년 충남대 전기공학과 졸업.  
 1987년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).  
 1990년~현재 한전 전력연구원 에너지환경고등연구소 선임연구원