

태양광 발전시스템의 계절별 일사량과 전력량 분석

김석곤², 황준원¹, 이영¹, 최용성¹, 이경섭¹¹동신대학교, ²한전전력연구원

Analysis of Irradiation and Power per Each Seasons of Photovoltaic Systems

Seok-Gon Kim², Jun-Won Hwang¹, Ying Lee¹, Yong-Sung Choi¹, Kyung-Sup Lee¹¹Dongshin University, ²Korea Electric power Research Institute

Abstract - In case of favourable irradiation conditions, the ratio of irradiation to the total irradiation went up and then the irradiation increased in the area with high angle of inclination. The study showed that on a clear day with the irradiation of more than 800[W/ m^2], the pattern of alternating current power change in the fixed system was similar with that in the single-axis tracker. On the contrary, in case of unfavourable irradiation conditions, the ratio of diffuse irradiation to the total irradiation went up and then the horizontal irradiation increased. In the demo system, the fixed system, the single-axis tracker and the dual-axis tracker all had low generation power and similar generation pattern with each other. The study showed the generation power varied with the irradiation in the fixed system, while in the single-axis tracker and the dual-axis tracker, the amount of the generation power variation was much more than the irradiation variation. The demo system was operated from 11:00 AM to 2:00 PM for generating power, during which time, 46[%] to 56[%] of the total generation power was produced.

In this study, the generation power was increased by 147[%] in the fixed system, by 136[%] in the single-axis tracker, and by 164[%] in the dual-axis tracker, and the pattern of generation power was similar with the generation power variation in the situation where the irradiation increased by 140[%] in the spring with plenty of insolation. The alternating current power was more sensitive to variation of the irradiation than to that of the surface temperature of a module. The variation of the irradiation had a more positive effect on the generation power than the type of array.

1. 서 론

현재 세계적으로 확인된 에너지 자원의 매장량 및 가채년수는 석유의 경우 1,373억[bb]로서 약 43년이고 천연가스는 141조[m^3]로 약 66년이며 석탄은 1만 755억[t]으로서 약 328년이며 우라늄은 232만[t]으로 약 62년의 가채년수를 지니고 있다. 에너지 수요는 2025년까지 2001년 실적대비 약 54[%] 늘어날 것으로 예상되고 연평균 증가율 1.8[%]로 전망되며 이와 같은 수요 증가율 전망치는 2003년도 보다 0.1[%] 낮아진 수준이며 에너지 소비 증가에 따라서 2025년 CO₂ 배출량도 약 371억 톤으로 전망되었는데 이는 1990년 탄소배출량 대비 약 72[%]나 증가된 수준이다. 에너지원별로 보면 석유가

32[%], 석탄이 26[%], 천연가스(LNG)가 20[%]로서 이산화석연료만으로도 전체의 80[%] 가까이 차지하고 있어 현대 문명은 화석연료의 소비에 의존하고 있다고 해도 지나친 말이 아니다.

태양광 발전은 다른 발전방식과는 달리 연료비가 불필요하고 대기오염이나 폐기물 발생이 없으며 발전부위가 반도체 소자이고 제어부가 전자제품이므로 기계적인 진동과 소음 등의 공해가 전혀 없는 에너지원이다. 그러나 태양광 발전은 에너지 밀도가 낮아 일사량, 온도, 계절 등 기상조건의 작은 변화에도 발전량의 편차가 심하고 출력이 불안정하여 상용전원과의 연계나 별도의 축전설비 또는 발전설비 없이 독립적으로 사용하기에는 다소 무리가 있다는 단점이 있다.

태양광 발전 시스템에서 발전 효율을 높이기 위해서는 일반적으로 높은 변환 효율을 갖는 태양전지를 사용하는 방법과 변환기의 변환효율을 높이는 방법 및 최대 전력 추출하는 방법 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법 등이 이용되고 있다 [1]~[5].

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 2007년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 1년 동안 실증운전을 통한 종합적인 운전특성 데이터, 태양전지 어레이 출력의 전압 전류, 교류 전력 및 전력량, 일사량 및 모듈의 온도, 외기온도 등 분석기간 동안 수집된 운전 데이터를 이용하여 태양이 태양전지 모듈에 입사되는 각과 발전량 즉 태양전지 어레이 형태와 발전량과의 상관관계를 정량적으로 규명하여 태양광 발전시스템의 설계 및 시공의 최적화가 이루어질 수 있도록 하였다.

2. 시료 및 실험방법

태양전지 어레이의 구성형태는 고정식의 경우 경사각이 남향 31[°]이고 일축 추적식은 태양전지 어레이가 동에서 서로 태양을 추적하도록 하였으며 양축 추적식은 태양의 위치를 동서남북 모든 방위에서 추적이 가능하도록 프로그램 추적 방식으로 설계 하였고 모니터링 결과는 1년을 기준으로 분석하였다.

모니터링 기간 동안의 기후조건 확인을 위해 기상청(www.kma.go.kr) 자료를 사용하였으며 이때의 일조시간 등은 전라남도를 기준으로 하였고 외기온도, 일조량, 출력전압 및 전류값은 모니터링 결과를 기준으로 하였다.

태양광 발전시스템의 실증시험을 위한 운전 특성분석을 위해서 태양전지 어레이는 태양전지 모듈(SHARP NE-Q7E3E, 167[W], 34.6[V], 4.83[A], 12.8[%]) 24개를 연결하여 구성하였으며 INVERTER는 FRONIUS IG-30, 2500[W] INDOOR TYPE 2대를 연결하여 5[kW]로 구성하여 설치하였다.

본 연구에서 일사량의 단위가 [W/ m^2] 이므로 설치된 태양광 발전의 설치 면적에 대한 일사량과 태양광 발전의 1[m^2]의 단위로 환산하여 1[m^2]당 태양광 발전에 받

는 일사량으로 생산되는 발전량을 비교해야 하나 일사량과 태양광 발전의 상관관계만을 비교·분석하였으며 교류전력과 일사량 온도의 상관관계를 비교하기 위해서 1[Wp] 단위로 환산하여 곡선을 비교하였다. 태양전지의 구성 기준은 표 1과 같다.

표 4-1 태양전지의 구성 기준
Table 4-1 Configuration of solar cell

| 설비구분 | 형식 | 기술규격 |
|-----------------------------------|---------|-------------------|
| 태양전지 | 종류 | 단결정 실리콘 태양전지-24ea |
| | 모듈 효율 | 16[%] 이상 |
| | 설비 용량 | 167[W]×24ea |
| | 모듈 최대출력 | 4000W급 이상 |
| 인버터 | 형식 | 내부거치 |
| | 출력 용량 | 2500[W]-2대 |
| | 입력 전압 | 12[V] 또는 24[V] |
| | 출력 | 순수 정현파 |
| 접속반 (DC, AC 접속반 포함) | 형식 | 육내 콘트롤 박스 |
| | 설비용량 | 4 [kVA] |
| 발전설비 원격감시 및 운전상태 감시장치 | 식 | 1식 분리형 |
| | 운영체계 | Window NT Base |
| | 중앙처리장치 | 펜티엄 4급 |
| | 원격통신방식 | LAN |
| 설치 개소 | 1개소 | |
| 감시 모니터 | 1대 | |

3. 결과 및 고찰

그림 1은 하루 태양이 비추는 시간 변화에 따른 교류전력, 온도, 일사량의 변화 추이를 분석한 곡선으로서 모듈의 표면온도의 변화에 따른 교류전력 변화의 추이보다는 일사량의 변화에 따른 교류전력 변화가 더 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 또한, 일사량의 변화에 따른 발전량은 고정식의 경우에는 일사량과 거의 유사한 패턴을 보이고 있는 반면, 단축추적식과, 양축 추적식은 일사량이 변화하는 량 보다는 더 많은 발전이 이루어짐을 알 수 있었다. 표 2는 시간별 교류전력의 변화량을 나타내는 것으로 주요 발전시간은 11시부터 14시까지로 발전량의 46[%]에서 56[%] 까지 발전됨을 알 수 있었다.

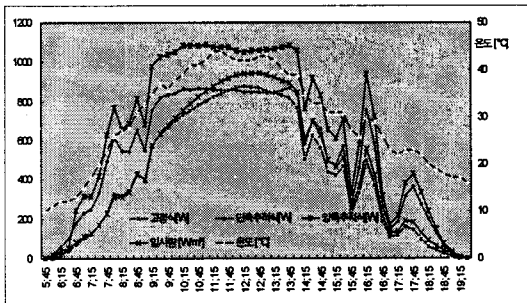


그림 1. 시간별 교류전력, 온도, 일사량 추이 곡선
Fig 1. AC power, temperature and irradiation curves according to time

표 2. 시간별 교류전력 변화량
Table 2. AC Power change according to time

| 시간 | 교류전력 [W] | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| | 고정식 | 단축추적식 | 양축추적식 |
| 9시 이전 | 4.64[%] | 7.86[%] | 7.76[%] |
| 9시~11시 | 17.11[%] | 19.09[%] | 19.49[%] |
| 11시 ~ 14시 | 55.55[%] | 47.10[%] | 46.26[%] |
| 14시 이후 | 22.69[%] | 25.96[%] | 26.48[%] |

그림 2, 3과 표 3은 계절별 일사량과 전력량의 변화를 나타내고 있으며, 일사량이 가장 적은 계절인 겨울을 기준으로 보면 겨울보다 봄(140[%])의 일사량이 가장 많음을 알 수 있고, 가을(123[%]), 여름(117[%])순으로 작아지는 것을 알 수 있다.

발전량도 일사량에 비례하여 변화하는 것을 알 수 있는데, 표 4는 일사량이 적은 겨울을 기준으로 전력량 변화율을 나타낸 것으로, 봄에는 겨울에 비해서 발전량이 고정식은 147[%], 단축추적식은 136[%], 양축추적식은 164[%] 증가를 보이는데 이는 일사량이 140[%] 증가하는 패턴과 같음을 알 수 있다.

반면에 일사량이 적게 증가되는 여름에는 고정식과 단축추적식은 거의 겨울과 같은 패턴을 유지하고 있으며, 양축 추적식만 22[%] 증가하는 것을 알 수 있다.

상기에서 보는 바와 같이 전력량은 일사량에 비례해서 변화하는 하는 것을 알 수 있었는데, 특히 어레이 형태에 따라서 일사량의 변화 패턴보다 더 많은 발전이 이루어지는 결과를 얻을 수 있었다.

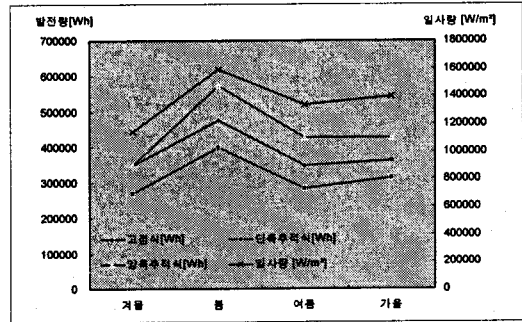


그림 2. 계절별 일사량과 전력량 변화 곡선
Fig 2. Irradiation and power change curves according to season

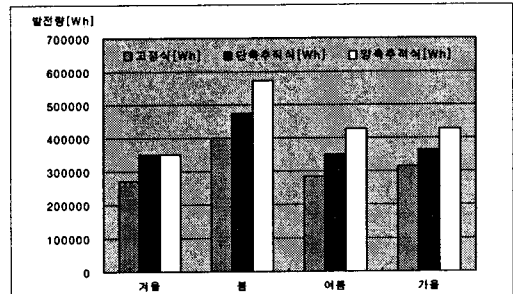


그림 3. 계절별 발전량 분석 그래프
Fig 3. Analysis of power according to season

표 3. 계절별 일사량과 전력량

Table 3. Irradiation and power according to season

| | 겨울 | 봄 | 여름 | 가을 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 고정식 [Wh] | 271,208 | 399,630 | 285,057 | 313,044 |
| 단축추적식 [Wh] | 349,804 | 475,790 | 349,804 | 362,534 |
| 양축추적식 [Wh] | 349,911 | 573,253 | 427,587 | 426,362 |
| 일사량 [W/m^2] | 1,139,217 | 1,590,743 | 1,335,117 | 1,395,838 |

표 4. 계절별 일사량과 전력량 비율

Table 4. Irradiation and power ratio according to season

| | 겨울 | 봄 | 여름 | 가을 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| 고정식 [Wh] | 100[%] | 147[%] | 105[%] | 115[%] |
| 단축추적식 [Wh] | 100[%] | 136[%] | 100[%] | 104[%] |
| 양축추적식 [Wh] | 100[%] | 164[%] | 122[%] | 122[%] |
| 일사량 [W/m^2] | 100[%] | 140[%] | 117[%] | 123[%] |

4. 결 론

본 논문에서는 1년간 계통 연계형태양광 발전시스템을 실증 운전하여 외부조건 이 태양광 발전시스템의 성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가 제시하였으며 종합적인 운전특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

일사조건이 불량한 경우, 전체일사량 중에서 산란 일사량이 커지게 되어 수평면 일사량이 많아지게 되는데 실증운전에서는 일사량이 $200[W/m^2]$ 이하에서는 고정식, 단축추적식, 양축추적식 모두 발전량이 작고, 발전 패턴이 유사함을 알 수 있었다.

일사량의 변화에 따른 발전량은 고정식의 경우에는 일사량과 거의 유사한 패턴을 보이고 있는 반면 단축추적식과, 양축추적식은 일사량이 변화하는 량 보다는 더 많은 발전이 이루어짐을 알 수 있었고 주요 발전시간은 11시부터 14시까지로 발전량의 46[%]에서 56[%]까지 발전됨을 알 수 있었으며, 일사량이 많은 봄에는 일사량이 140[%] 증가하는 패턴과 유사하게 고정식은 147[%], 단축추적식은 136[%], 양축추적식은 164[%] 발전량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 모듈의 표면온도의 변화에 따른 교류전력 변화의 추이보다는 일사량의 변화에 따른 교류전력 변화가 더 민감하게 반응함을 알 수 있었으며 일사량의 변화에 따른 발전량은 어레이의 형태에 따라서 일사량이 변화하는 량 보다는 더 많은 발전이 되어지는 결과를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박이준 외 3인, "태양전지의 출력특성 측정과 광원문제", 한국태양 에너지 학회지 (1994).
- [2] 조덕기 외 3인, "방위별 경사면 일사량 분석에 관한 연구", 한국 태양에너지 학회 논문집 (2001).

[3] 조덕기 외 3인, "국내 태양광 발전시스템의 최적설치에 관한 연구", 한국태양에너지 학회 논문집 (2004).

[4] 유권중 외 3인, "태양광 발전기술 및 현황과 전망", 대한전기학회 하계 학술대회 (2004).

[5] C. Gueymard. "Critical analysis and performance assessment of clear sky solar irradiance models using theoretical and measured data", solar energy (1993).