

태양광 발전시스템에서 모듈 설치 각도와 어레이 간격의 비교 연구

(Comparison Researches for Installation of the Module Angles and
Array Spacing on Photovoltaic Power System)

최동진*

(Dong-Jin Choi)

요 약

본 논문에서는 태양전지를 가지고 일정량의 태양광으로부터 최대 유효전력을 얻기 위해 고정식 태양광 발전시스템과 태양 위치추적기를 부착한 태양광 발전시스템에서 PV 모듈의 각도 변화 및 어레이 간격에 따른 최적의 발전 효율에 대한 연구 및 실험을 하였다.

먼저, PV 모듈의 다양한 각도를 가지고 실험한 결과 PV 모듈 경사각 30[°]에서 측정된 결과 값이 경사각 20[°] 및 40[°]일 때보다 발전 효율이 12~17[%] 상승되었다.

그러므로 본 논문의 연구 결과에서는 태양광 발전시스템의 실용화 측면에서 PV 모듈의 경사각 30[°] 설치를 하여 발전을 하는 것이 가장 좋은 변환 효율을 얻을 수 있었다. 하지만 태양전지를 지붕 및 옥상에 설치를 할 경우, 면적 활용이 좁고 겨울에 눈이 쌓이게 될 경우에는 경사각에 의해 빠르게 쓸려 내려갈 수 있도록 경사각을 35[°]로 선정하는 것이 타당하다.

Abstract

This thesis is based on the research and experiment of the optimal efficiency generation of electric power. The research and experiment were conducted to search the optimal generation of electric power from a specific amount of solar energy from Photovoltaic Power System with a solar position tracker were used. The changes in the array angles and spacing of the PV Module were also taken into account as well. Here are the findings and the conclusions.

First of all, based on experiment using the various anglers, the efficiency generation of electric power increased to a maximum of approximately 12~17[%] more at the PV module inclination angle of 30[°] than at the inclination angles of 20[°] and 40[°].

As a result, we have found that installing the PV module inclination at the angle of 30[°] brought about the most efficient conversion effect of the Photovoltaic Power System. But, when the solar cell is installed on a roof or rooftop where snow builds up, it is the most appropriate to install the solar energy at an 35[°] angle so that snow slides down and not build up on the module.

Key Words : Photovoltaic Power System, PV Module, Optimal Efficiency Generation

* 주저자 : 경원대학교 공대 전기·소방공학부 교수

Tel : 031-750-5345, Fax : 031-750-5577, E-mail : djchoi@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2008년 11월 25일, 1차심사 : 2008년 12월 15일, 심사완료 : 2008년 12월 24일

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 무소음, 무한정, 무공해인 청정에너지를 발생하므로 쾌적하고 안정된 전원을 공급할 수 있으며, 연료의 공급 없이 20년 이상 사용 가능할 뿐만 아니라 운전, 유지관리 및 보수비용의 현저한 감소로 인해 대체 에너지원으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 에너지원이 태양광이라 야간이나 우천 시에 사용이 불가능하며, 출력이 일사량에만 의존되므로 자연환경에 따른 변동이 일어나 불안정하며, 직/교류 전력변환장치가 필요하고, 에너지원이 저밀도라 대전력을 얻기 위해서는 큰 면적이 필요한 단점이 있다. 그리고 현재 태양전지의 변환 효율이 상용제품의 경우 14[%]정도로 낮고, 1[W]당 가격이 약 4\$내외로서 초기 시설 투자비가 많이 소요된다[1]. 따라서 기존의 전기 설비에 비해 발전단가가 높아 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지 재료의 성능향상, 주변 장치의 효율 증대 및 관련 분야 기술에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다. 또한 이러한 태양광 발전 설비는 계절에 따라 달라지는 태양의 고도와 방위각에 많은 영향을 받으므로 시스템 설치각도나 설치방향을 정확히 위치시켜 시스템의 수광면에 일사량을 최대로 받게 하는 것이 태양에너지 이용시스템의 성능을 높일 수 있는 최선의 방법이라고 할 수 있다[2]. 일출 때부터 일몰 때까지 태양의 위치를 정확히, 그리고 지속적으로 추적한 태양에너지의 양이 기존 고정적인 방식에 비해 갖는 이점을 생각하지 않을 수 없다.

태양전지는 전지표면에 입사되는 일사량도에 따라 획득 전력량의 높고 낮음이 좌우되는데 제작 생산단계에서의 고효율 기술개발과 일사량도를 최대한 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 이루어져야 한다[1].

이에 본 논문에서는 근래에 급속히 보급되고 있는 태양광 발전 시스템에서 국내에서는 심도 깊게 연구되고 있지 않은 부분으로 제한된 면적의 모듈을 가지고 최대한의 효율 증대를 얻을 수 있도록 어레이 간의 간격 및 경사각에 대한 최종 획득 전력량의 비교 분석을 통한 적용 가능성을 검토하여, 국내 기상 조건에 적합한 최적 적용 기법을 제안한다.

2. 태양전지 이론

2.1 이론한계효율과 고효율화 기술

실제의 태양전지의 공칭효율의 측정에는 미리 자연 태양 방사광 스펙트럼을 모의한 솔라 시뮬레이터를 이용하여 그 출력 (power)을 설정하여 측정한다[3].

태양전지의 출력 전력은

$$P_{out} = V \cdot J_{sc} - I_0 [\exp(\frac{eV}{nkT}) - 1] \quad (1)$$

이다. 최적 부하점 P에서는 출력 파워가 최대로 되기 때문에

$$\frac{dP_{out}}{dV} = 0 \quad (2)$$

따라서, 최적 동작전압 V_{max} 는

$$\exp(\frac{eV_{max}}{nkT})(1 + \frac{eV_{max}}{nkT}) = \frac{J_{sc}}{I_0} + 1 \quad (3)$$

이때의 최적 동작 전류는

$$I_{max} = \frac{(J_{sc} + I_0) \cdot eV_{max}/nkT}{1 + eV_{max}/nkT} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다.

태양전지의 입사광 조건으로 측정된 최대 출력점 $P(V_{max}, I_{max})$ 및 V_{oc}, J_{sc} 를 구하면 공칭 효율 η_n 은 유효 수광 면적 $S(cm^2)$ 일 때,

$$\begin{aligned} \eta_n &= \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_m S} \times 100 (\%) \\ &= V_{oc} (V) \cdot J_{sc} (mA/cm^2) FF (\%) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$FF = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \quad (6)$$

로 된다. 여기서 FF는 곡선인자(curve fill factor)라고 하며 그림 2.1의 회색 부분의 면적을 $V_{oc} \cdot J_{sc}$ 의 면적으로 나눈 것으로, 태양전지의 양호정도를 나타내는 중요한 지수가 된다[3].

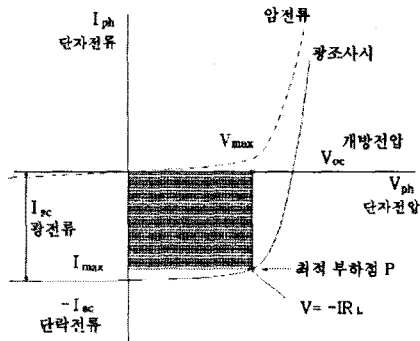


그림 2.1. 태양전지의 전압-전류특성
Fig. 2.1. V-I Characteristic of Solar Cell

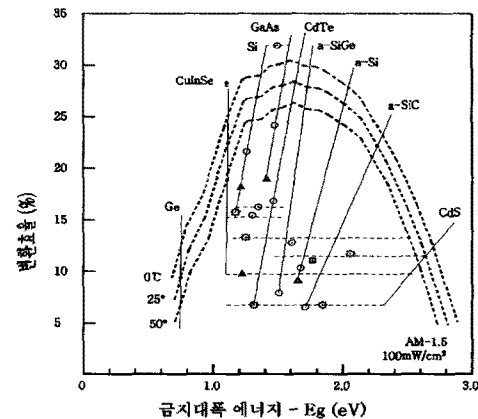


그림 2.2. 각종 태양전지의 실온에 있어서의 효율(3)
Fig. 2.2. Room Temperature Utility Factor of Variable Solar Cell[3]

그림 2.2는 AM-1.5, 100[mW/cm²]의 입력광 조건에서 각종재료의 광흡수 스펙트럼이다[3]. 각종 재료의 태양전지 이론 한계 효율과 재료의 금지대 폭과의 관계를 나타낸 것이다. 그림의 ○표시는 이론 한계효율, 각종 재료에 대하여 지금까지 연구개발단계로 발표된 실증 최대효율은 ○표시, 그리고 대량 생산단계로서 실제로 시판되고 있는 셀 효율은 ▲로

나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 일반용 GaAs 태양전지에서는 이론한계가 28.5%, 연구단계에서는 24.7[%]가 되어 양산규모라면 20[%] 정도 가능하다.

한편, 결정 Si에서는 이론한계 27[%], 연구단계 24.2[%] 그리고 양산규모 16~18[%]의 효율이 발표되고 있다. 또, 값싼 태양전지로 많이 사용되고 있는 아몰퍼스 실리콘(a-Si)에서는 이론한계 25.5[%], 연구개발 중의 소면적 핀(pin) 단결정 접합으로 13[%], 10×10[cm²]의 실용 사이즈에서 12[%]정도이다[3-4].

2.2 태양전지의 어레이 설치에 따른 분류

2.2.1 고정식 및 반고정식 태양전지 시스템

고정식 시스템은 어레이 지지형태가 가장 안정된 구조로서 가장 경제적이며, 비교적 원격 지역 및 설치 면적의 제약이 없는 곳에 많이 이용되고 있다. 특히 도서지역이나 동해안 및 남해안 등에서는 풍속이 강한 곳에 설치하는 것이 가장 좋다.

그러나, 고정식 태양전지는 추적식 및 반고정식 태양전지에 비해 낮은 발전효율을 보인다. 하지만 초기에 투자비가 적게 들고, 보수 관리 및 설치가 간단하여 설치 목적에 따라 종합적인 검토 후에 고정식을 설치하는 것이 바람직하다. 특히 국내 및 국제적으로 가장 많이 사용되는 어레이 지지방법이며, 대용량으로 발전하는 태양광 발전시스템에 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 국내에서도 고정식 태양전지 시스템을 표준으로 하여 가장 많이 사용하고 있다.

반고정식 시스템의 어레이는 태양전지를 월별 또는 계절별로 경사각의 위치에 변화를 상하 또는 좌우로 주어 발전을 하는 시스템이다.

일반적으로 반고정식 태양전지 시스템은 계절에 따라 미리 계산된 값에 의해 수동으로 변화를 준다.

반고정식 태양전지 시스템은 고정식과 추적식의 중간 정도로서 추적식 태양전지 보다는 발전효율이 좋지 못하지만, 고정식 태양전지 발전효율의 약 20[%]정도의 높은 평균 발전량을 보인다.

2.2.2 추적식 태양전지 시스템

추적식 어레이는 태양광발전시스템을 최대로 하기 위한 방법으로 태양광이 항상 태양전지판의 수직으로 입사될 수 있도록 구동장치 및 광센서 등을 이용하여 태양의 방향을 추적하는 방식이다.

추적식 태양전지는 추적 방향에 따라 여러 가지 방식으로 나누어진다. 방식으로는 추적 방향에 따라 나누어지는 단방향 추적식과 양방향 추적식이 있고, 태양을 추적하는 감지식, 혼합형, 프로그램 제어식 추적방식이 있다. 그 밖에 태양광선의 집광유무에 따라 집광형 및 평판형 어레이 등도 선택할 수 있다[5].

2.3 어레이 간격

태양광 발전 시스템 설치조건 중 주위에 가로막는 것이 없어 그늘이 생기지 않아야 이상적이고 예상되는 발전량을 산출할 수가 있다.

하지만 실제에는 수목이나 빌딩 등에 일사를 차단 당하는 경우가 많다. 그러므로, 직사일광이 가려지는 경우의 발전량은 가려지는 것이 없는 경우에 비하여 약 10~20[%] 저하된다.

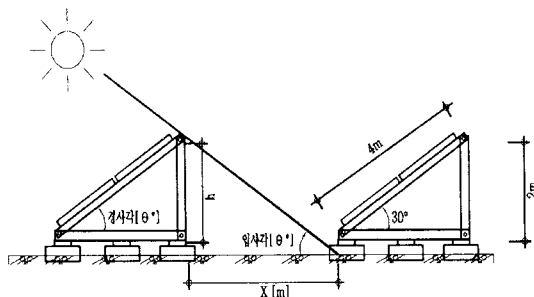


그림 2.3. 그림자의 길이 계산
Fig. 2.3. Length Calculation of shadow

또한 수목이나 빌딩 등의 그늘 이외에도 태양전지 어레이간의 그늘에 대한 검토도 요구된다. 태양전지 어레이간 거리가 가까우면 앞쪽에 있는 태양전지로 인해 뒤에 있는 태양전지에 그늘이 드리울 수 있다. 따라서 수평면에 수직으로 세워진 높이 (L)의 높이가 만든 그림자의 남북방향의 길이를 (Ls), 태양의

높이를 (h), 방위각을 (α)로 할 때 그림자의 배율 R 은 다음 식으로 표시된다.

$$R = \frac{Ls}{L} = \cot h \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

태양전지 어레이의 그림자는 설치장소의 위도, 계절, 시간에 따라 다르지만 그림자의 길이가 가장 길어지는 동지의 오전 9시에서 오후 3시 사이 태양전지 어레이에 그림자가 드리우지 않아야 한다.

그림 2.3의 입사각이 θ[°] 일 때 음영의 입사각을 계산하는 방법은

$$\text{입사각 } \tan \theta [^\circ] = h[m]/x \quad (8)$$

로 하였다[6-7].

3. 실험 방법 및 측정

3.1 고정식 태양전지 실험 방법 및 조건

연구의 측정 장소는 경원대학교 창의관 옥상이다. 사용한 장비는 ELETTRONICA VENETA & INEL SPA(ITALY)회사(이태리 제조)의 수입품으로 PV 모듈로서 각각 72개의 셀로 구성되어 있다.

추적식 태양전지는 태양위치에 따라 이동할 수 있는 구동부와 위치 센서 및 태양전지를 제어할 수 있는 제어부로 구성되며 고정식 태양전지는 여기에서 제어부만 이용된다.

이 장치를 가지고 경사각도 변화에 따른 값을 측정하기 위해 태양전지를 수동 조정하여 정남향 방향을 보게 하였으며, 위치 센서를 움직이지 못하게 프로그램을 조정하여 고정시켰다.

또한, 이 실험의 가장 중요한 요소인 경사각도 각각 20[°], 30[°], 40[°]의 조건으로 발전량을 측정하였다. 발전량 측정은 AMETEK POWER INSTRUMENTS MERIDIAN 3000 회사(미국 제조)의 전력 분석기를 이용하여 측정하였다.

3.2 고정식 태양전지 발전량 측정

실험을 위해서 PV 모듈의 각도(20[°], 30[°], 40[°])에 따른 발전량을 2개월간 3회에 걸쳐 측정하여 평균값의 데이터를 가지고 비교 분석한 것이다.

- (a) 각각의 시간 간격들에 대한 평균 발전량을 비교한 결과 PV 모듈 경사각 30[°]에서 측정한 결과 값이 경사각 20[°], 경사각 40[°]보다 최대 5~10[%] 높은 효율을 얻을 수 있었다.
- (b) 오전 안개 및 구름 등으로 인해 발전량 저하를 가져올 수 있으며, 특히 가장 좋은 발전량이 들어오는 12~15시 부분에 비 또는 눈이 내릴 경우 그날 하루 평균 발전량에 막대한 영향을 줄 수 있다.

그림 3.1의 시간 평균 발전량 그래프에서 측정된 날씨 중 가장 쾌청한 날씨로서 낮 12~14시일 때 경사각도 30[°]에서 최대 발전량을 보였다.

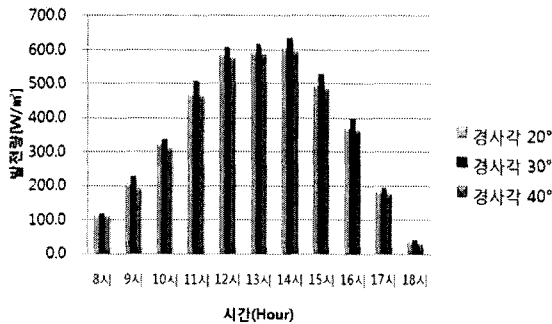


그림 3.1. 시간 평균 발전량 그래프
Fig. 3.1. Electrical Power Generation Graph of Time Average

3.3 추적식 태양전지 실험 방법 및 조건

추적식 태양전지는 위치 센서에 의해 태양 위치, 날짜, 시간 등의 변수를 자동으로 계산하여 프로그램 제어하는 방식이다.

즉, 어느 특정한 경사각에 고정되어 있는 것이 아니라 태양의 위치를 자동으로 측정하여 PV 모듈에 수직으로 입사되는 방식이다. 이 방법은 방위각 오차가 ±5[°] 이상 발생할 경우 제어기가 작동하여 구동부를 가동시켜 PV 모듈 위치를 수직 입사될 수 있

게 작동시킨다. 그림 3.2는 사용 장비의 제어장치를 나타내는 일람표이다. 그림 3.3은 추적식 태양전지의 제어장치이고, 그림 3.4는 실험장치의 컴퓨터 프로그램에 나타나는 추적식 태양전지 계통도이다.

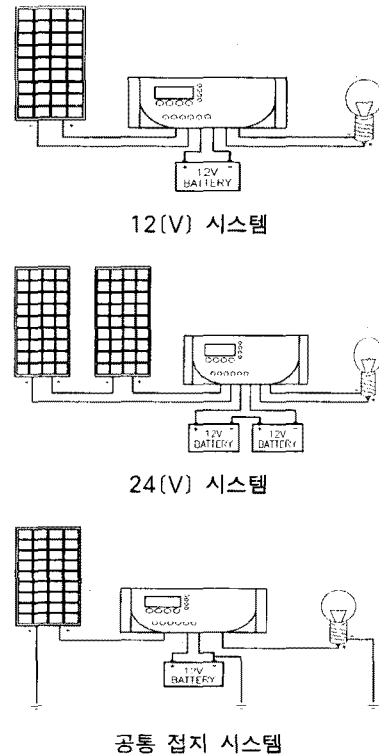


그림 3.2. 제어장치 일람표
Fig. 3.2. Sign of Control Device

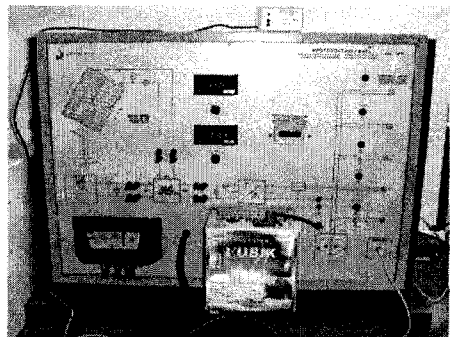


그림 3.3. 추적식 태양전지의 제어장치
Fig. 3.3. Control Device of Tracking System Solar Cell

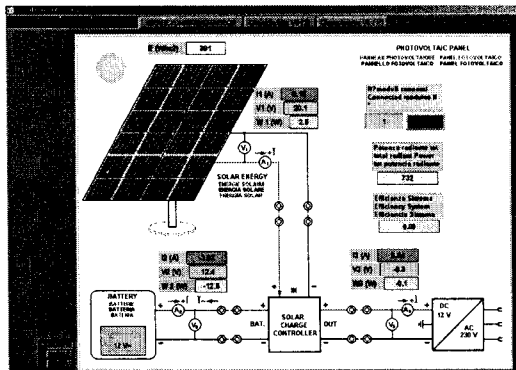


그림 3.4. 실험장치의 컴퓨터 프로그램에 나타나는 추적식 태양전지 계통도
 Fig. 3.4. Flow chart of Tracking System Solar Cell at Computer Program in Experiment Device

3.4 추적식 태양전지 발전량 측정

실험에서는 추적식 태양전지를 이용하여, 고정식 태양전지의 발전량 측정 실험과 같은 조건으로 쾌청한 날씨를 선정, 발전량을 측정하여 그림 3.5와 같이 시간 평균 발전량 그래프를 구하였다.

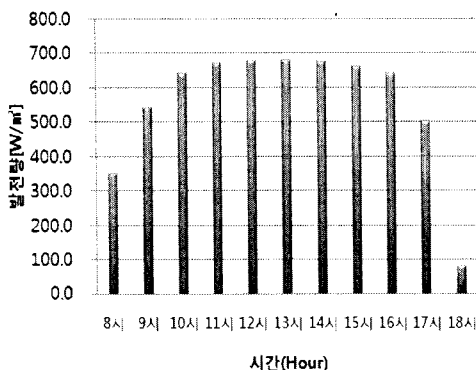


그림 3.5. 시간 평균 발전량 그래프
 Fig. 3.5. Electrical Power Generation Graph of Time Average

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서의 고정식 태양전지는 정남향 방향으로 하고, 경사각도를 수동 조정하여 최대의 발전 효율을 얻을 수 있는 경사각 30°로 고정 설치

하였다.

추적식 태양전지는 고정식 태양전지와 동일한 72개의 셀의 구성으로 설치하였고, 자동으로 태양의 위치, 날짜, 시간 등의 변수를 체크하여 태양광이 PV 모듈에 수직으로 입사하게 하여 최대 발전 효율을 얻었다.

추적식 태양전지의 발전 효율이 고정식 태양전지의 발전 효율보다 40~45[%]이상 향상시켜 보다 많은 전력을 생산할 수 있었다.

그러나, 추적식 태양전지는 설치비용이 고가이므로 우리나라 발전 형태가 대부분 고정식을 채택하고 있다. 그러므로, 지붕면 또는 옥상에 고정식 PV 모듈을 설치할 경우 평균 발전량이 가장 많은 경사각 30°를 적용하고 태양전지의 높이에 따른 음영 길이를 고려하여 설치하여야 한다.

다음, 어레이 간격의 이론식은 그림 2.3에서 어레이 그림자가 가장 길게 되는 동지를 기준하여 입사각을 18.3°로 선정하여 실험하였다[6].

그림 2.3에 각종 값을 적용 산정하여 표 4.1에 PV 모듈 설치 각도와 어레이 간격에 따른 이론값을 나타내었다. 그러나 설치장소에 따라서는 발전효율이 좋은 tan30°를 적용하기 보다는 다소 효율은 떨어지지만 지붕 및 옥상 면적 활용이 좋고, 겨울철에 쌓이는 눈의 무게를 고려한 설치 각도가 필요하다. 그러므로 태양전지 위에 눈이 쌓이더라도 빠르게 녹고 빠르게 쓸려 내려갈 수 있는 경사각 35°를 선정하는 것이 이상적일 수도 있다고 판단된다.

표 4.1. PV Module 설치 각도 와 어레이 간격
 Table 4.1. Installation of the PV Module Angles and Array Spacing

입사각 [°]	높이 [m]	경사각 [tan°]	이격거리 [m]
18.3	1.7	25	5.14
	2	30	6.05
	2.3	35	6.95

그림 4.1은 그림 3.1과 3.5의 고정식 태양전지와 추적식 태양전지 발전량 비교 그래프이다.

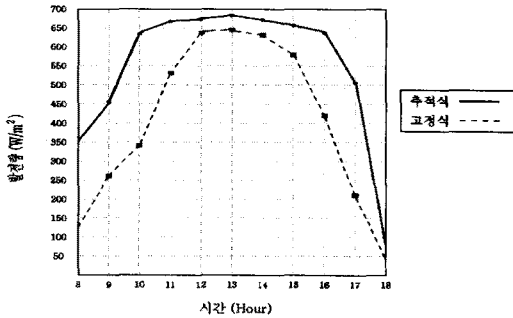


그림 4.1. 고정식 태양전지와 추적식 태양전지 발전량 비교 그래프
 Fig. 4.1. Compare of Electrical Power Generation Graph on Fixing & Tracking System

5. 결 론

본 연구에서는 PV 모듈의 다양한 각도를 가지고 실험하여, 경사각 30°에서 측정된 결과 값이 경사각 20° 및 40°일 때보다 발전 효율이 12~17% 상승되므로 실용화 측면에서 PV 모듈의 경사각을 30°로 설치할 하여 발전을 하는 것이 가장 좋은 변환 효율을 얻을 수 있었다. 그러나 태양전지를 지붕 및 옥상에 설치할 경우 면적 활용이 좁고, 겨울에 눈이 쌓이게 될 경우에는, 경사각에 의해 빠르게 쓸려 내려갈 수 있도록, 경사각을 35°로 선정하는 것이 타당하다고 사료된다.

또, 고정식과 추적식의 두 방식을 가지고 실험한 결과 고정식 태양광 발전시스템 보다 추적식 태양광 발전시스템으로 발전하는 방법이 변환효율을 30~40% 개선할 수 있음을 확인하였다.

그러므로 실용화 측면에서 태양전지의 변환효율의 향상과 제품의 자동화에 따라 PV 모듈의 저가화가 이루어진다면 소형화된 추적식 태양광 발전시스템으로도 설치면적 및 대형화된 고정식 태양광 발전시스템의 발전효율을 얻을 수 있을 것이다. 따라서 작은 공간에 저렴한 추적식 태양광 발전시스템의 상용화가 이루어질 수 있을 것이다.

또한, 상기의 결과로 부터 가상되는 방법으로, PV 모듈 방향을 정남향으로만 설치하지 말고, 하루에 3~4회 이동하는 반고정 시스템을 도입하게 된다면 더욱 좋은 발전 효율을 얻을 수 있을 것이다.

References

- (1) Daco.I.R.E "Actual conditions & prospect of Photovoltaic Power" pp. 56~58 2008.
- (2) "Photovoltaic Power Generating System" Photovoltaic Power Association Ohmsa pp. 113~114 2006.
- (3) Hamagawa yorizo "Photovoltaic Power Generating" CMC pp.15~24 2004.
- (4) Kyung-Hai Kim, Jun-Sin Lee "Introduction to Solar Cell Production" Dooyangsa pp. 146~162 2008.
- (5) KEPA "Electrical equipment, Energy of New & regenerative" Gidari pp. 108~113 2006.
- (6) Sun-Hyung Lee "The Plan & Design of Photovoltaic Power System" Gidari pp. 119~120 2008.
- (7) "The utilize technique of Solar Energy" Japan Solar Energy pp. 26~32 2007.

◇ 저자소개 ◇

최동진 (崔東震)

1945년 8월 6일생. 1972년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 연세대학교 졸업(석사). 1985년 중앙대학교 졸업(박사). 1997년 동경공업대 전자물리과 해외파견교수(학진). 2004년 Johns Hopkins대 전기공학과 연구교수. 현재 경원대학교 공대 전기·소방공학부 교수.