

평판형 및 아치형 태양광발전 시스템의 성능평가 분석

The Performance Evaluation Analysis of PV System for Arch and Flat-Plate Type

Zheng-Guo Piao* · 최 연 옥*
(Zheng-Guo Piao · Youn-Ok Choi)

Abstract - The studies on the operating performance analysis or design about the fixed tilt angle flat-plate photovoltaic (PV) system are still lively going off. However the operating property analysis about the arch type PV system which means PV array were designed as round type is dissatisfied. In this paper, we theoretically established the factors which are cause of the deterioration in performance of arch type PV system. In addition, we use the Solar Pro simulation tools to design both flat-plate type and arch type 30kW PV systems. The simulations about arch type PV system applied two ways such as central inverter and string inverter were conducted. The performance ratio (PR) of the PV system with flat-plate type shows the highest value 74[%] when the tilt angle is 30°. In case of arch type, when applying central inverter method, PR value shows approximately 73[%] and no more difference with arch type of the PV array. This value shows 1[%] decrease compare with the flat-plate type. However when applying string inverter methods, the average PR value shows 80 % and 6% improved than the central inverter method.

Key Words : Arch type PV systems, Performance ratio, Capture losses, System losses, Reference yield

1. 서 론

건물일체형 태양광발전(BIPV, Building Integrated Photovoltaics)은 건축외장 기능과 동시에 전기를 생산하는 태양전지를 일체화시킨 태양광발전 시스템으로 전력을 생산함은 물론 초기 설치비용을 절감하며 미적 및 건축적 요소를 효율적으로 통합하는 태양광발전 방식이다. 빌딩이나 건물에 적용하는 BIPV 시스템의 경우 태양광발전 시스템의 출력량에 영향을 미치는 온도, 지역적인 특성, 환경적 요소, 건축물의 구조 및 엔지니어링 관점 등을 고려해야 한다. 따라서 이러한 요소를 고려한 BIPV 시스템은 최적화되어야 하며 동시에 건축학적 미를 살려야 한다[1-3].

BIPV 시스템은 태양전지 어레이의 구조설계에 따라 일반적인 평판형과 미적 효과를 고려한 아치형으로 분류 할 수 있으며 인버터 구성 방식에 따라 중앙집중식, 멀티스트링방식 등으로 분류 할 수 있다. 평판형으로 설계된 태양광발전 시스템의 경우 태양전지 어레이 최적의 각도로 설계하여 최대 전력을 생산 할 수 있다. 반면에 건물의 미적 요소를 고려하여 라운드 형태로 설계한 아치형의 경우에는 태양전지 어레이 각 스트링의 경사각이 일정하지 않으며 태양에너지 이용률이 다소 저하한다. 이러한 평판

형 태양광 발전 시스템은 소규모 스케일에서 대형의 스케일 까지 다양하게 적용되어 왔으나 아치형은 대형보다는 중소규모의 스케일 일로 건물의 옥상에 한정하여 적용되고 있다. 또한, 평판형에 대한 설계방식이나 성능평가 분석은 많은 연구가 진행되었으나 미적요소를 강조한 아치형에 대한 성능평가 분석에 관한 연구는 사실상 미흡한 실정이다.

따라서 본 논문에서 중규모인 30kW급 태양광발전 시스템을 어레이 구조설계에 따라 평판형과 아치형으로 분류하고, 아치형의 경우 인버터의 구성 방식에 따라 중앙집중식과 멀티스트링 방식으로 분류하여 3가지 구성방식인 중앙집중식 평판형, 중앙집중식 아치형 및 멀티스트링 방식 아치형에 대한 각각의 태양광발전 시스템을 구성하고 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 통하여 3가지 형태에 관한 성능평가 지수를 이용하여 성능평가를 비교 분석하고자 하였다.

2. 태양전지 모델링 및 성능평가 지수

2.1 일반적인 태양전지 모델링

일반적으로 P-N접합 구조를 갖는 반도체 소자인 태양전지는 이상적인 다이오드와 전류원으로 모델링 할 수 있다. 태양전지에 태양광이 조사되면 태양광 전류 I_{ph} 를 생성하고 태양 일사강도에 비례한다. 이러한 태양전지 등가회로는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다[5-7]. 그림 1의 (a)는 태양전지에 태양광이 조사될 때의 이상적인 등가회로이며, 그림 1의 (b)는 태양전지에 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 를 고려한 보다 실제적인 근사화한 태양전지의

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering
Chosun University, Korea

E-mail : yochoi@chosun.ac.kr

* Dept. of Electrical and Control Engineering, North China
University of Technology, China

Received : June 12, 2015; Accepted : June 26, 2015

등가회로를 나타내고 있다.

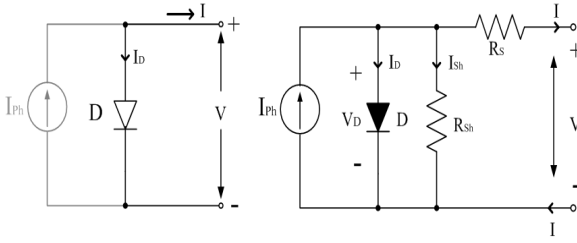


그림 1 태양전지의 등가회로

Fig. 1 The equivalent circuit of solar cell

그림 1의 (b)는 실제적인 태양전지 등가회로에서 태양전지의 출력전류는 식 (1)과 같다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{V + IR_s}{V_t} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

여기서, I_0 : 다이오드의 역 포화전류, R_{sh} : 병렬저항,

R_s : 직렬저항,

V_t : 열전압 ($V_t = \frac{nkT}{e}$, n : 다이오드 상수,

k : 볼츠만 상수, T : 절대온도, e : 전하량)

태양전지를 이상적인 P-N접합 다이오드라 하면 즉, $R_s = 0[\Omega]$, $R_{sh} = \infty[\Omega]$ 이라 할 때 출력전류는 식 (2)과 같이 간략히 나타낼 수 있다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{V}{V_t} - 1 \right) \quad (2)$$

2.2 평판형 태양전지 어레이 모델링

그림 2는 임의의 경사면에 대한 태양의 위치를 나타내고 있고 θ_{zs} 는 태양 천정각, θ_s 는 태양입사각, α 는 경사면 방위각, β 는 경사면 경사각을 나타낸다. 평판형 태양전지 어레이의 최대 출력점을 얻기 위해서는 최적의 경사각으로 일정하고 정남향의 방위각은 정남향 $\alpha = 0$ 으로 한다. 이 때 태양전지 어레이의 경사각을 β 라고 하면 경사면에 대한 일사량은 다음 식 (3)과 같다 [8-10].

$$G(\beta) = G \cdot \cos \theta_s \quad (3)$$

여기서 G : 맑은 날의 AM(Air Mass)에 따른 일사량을 나타낸다.

경사각이 β 일 때 식 (2)의 태양전지 출력전류는 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다[11].

$$I = I_{ph} \cos \theta_s - I_0 \left(\exp \frac{V}{V_t} - 1 \right) \quad (4)$$

태양전지의 출력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

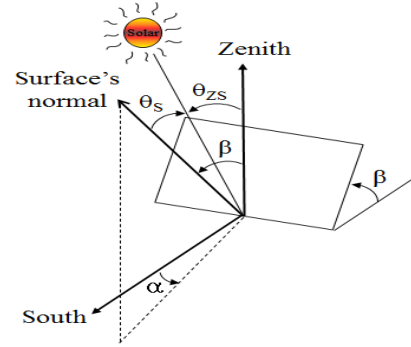


그림 2 경사면에 대한 태양입사각

Fig. 2 The sun's rays incidence angle for inclined plane

$$P_{out} = V \times I = V \times [I_L \cos \theta_s - I_0 \left(\exp \frac{V}{V_t} - 1 \right)] \quad (5)$$

최대전력점에서 동작하기 위해서는 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 을 만족할 때이므로 최대동작전류 I_m 과 최대동작전압 V_m 은 식 (6)과 식 (7)과 같고 최대전력은 식 (8)과 같다.

$$I_m = I_L \cos \theta_s - I_0 \left(\exp \frac{V_m}{V_t} - 1 \right) \quad (6)$$

$$V_m = V_t \left[\ln \left(\frac{I_L}{I_0} \cos \theta_s + 1 \right) - \ln \left(\frac{V_m}{V_t} + 1 \right) \right] \quad (7)$$

$$P_{max} = V_m I_m \quad (8)$$

평판형 태양전지 어레이의 경우 각 태양전지에 입사되는 입사각이 모두 같으므로 일사강도도 같게 되고 최종 출력인 태양전지의 출력특성도 모두 같게 되어 결국은 각 태양전지의 최대전력점도 또한 같게 된다.

2.3 아치형 태양전지 어레이 모델링

아치형 태양전지 어레이는 곡면형태로 각각의 스트링 경사각이 일정하지 않아 경사면 일사강도 또한 식 (3)과 같지 않게 된다. 따라서 방위각은 $\alpha = 0$ 이고, 서로 다른 두 태양전지의 경사각 β_1 과 β_2 이고 $\beta_1 \neq \beta_2$ 을 때 태양 입사각을 각각 θ_{s1} , θ_{s2} 라고 하면, 결국 두 태양전지의 전류는 식 (9), 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{L1} = I_L \cos \theta_{s1} \quad (9)$$

$$I_{L2} = I_L \cos \theta_{s2} \quad (10)$$

두 태양전지에 대한 태양의 태양 입사각 θ_{s1} , 이 θ_{s2} 보다 크다고 하면 $\cos \theta_{s1} < \cos \theta_{s2}$ 가 되고 광전류는 $I_{ph,1} < I_{ph,2}$ 가 된다. 따라서 두개의 태양전지를 직렬 연결할 때 최대동작전류 I_{sm} 과 최

대동작전압 V_{sm} 은 식 (11)과 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{sm} = I_L \cos \theta_{s1} - I_0 \left(\exp \frac{V_{Sm}}{V_t} - 1 \right) \quad (11)$$

$$V_{Sm} = 2V_t \left[\ln \left(\frac{I_L}{I_0} \cos \theta_{s1} + 1 \right) - \ln \left(\frac{V_{Sm}}{V_t} + 1 \right) \right] \quad (12)$$

또한, 두개의 태양전지를 병렬연결 할 때 전체 전류 I_p 는 식 (13)과 같다.

$$I_p = I_L (\cos \theta_{s1} + \cos \theta_{s2}) - 2I_0 \left(\exp \frac{V_p}{V_t} - 1 \right) \quad (13)$$

여기서, V_p : 전체전압으로 단위 태양전지의 전압과 같다.

결론적으로 두개의 태양전지 최대동작전류 I_{Pm} , 최대동작전압 V_{Pm} 은 식 (14)와 식 (15)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{Pm} = I_L (\cos \theta_{s1} + \cos \theta_{s2}) - 2I_0 \left(\exp \frac{V_p}{V_t} - 1 \right) \quad (14)$$

$$V_{Pm} = V_t \left[\ln \left(\frac{I_L}{I_0} \cos \frac{\theta_{s1} + \theta_{s2}}{2} \cos \frac{\theta_{s1} - \theta_{s2}}{2} + 1 \right) - \ln \left(\frac{V_{Pm}}{V_t} + 1 \right) \right] \quad (15)$$

아치형으로 태양전지 어레이를 구성하면 최대동작전류 및 최대 동작전압에 관한 식 (11), 식 (12), 식 (14), 식 (15)로부터 그림 3과 같이 경사각에 따른 태양전지 모듈의 출력특성을 나타낼 수 있다. 그림 3에 나타낸 것과 같이 경사각이 서로 다른 경우 태양전지의 최대동작전류가 달라 직렬연결 시 효율저하의 원인이 되며 병렬연결 시에도 최대 동작을 하지 않아 직렬 연결보다는 다소 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

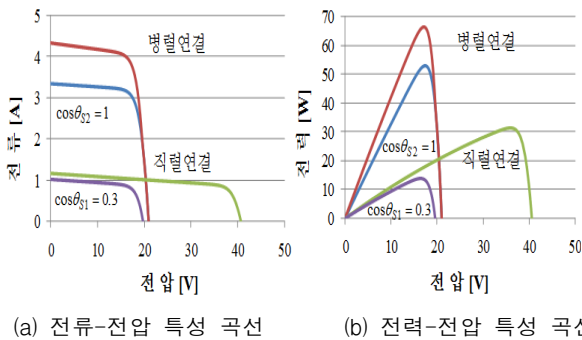


그림 3 경사각에 따른 아치형 태양전지 모듈의 특성곡선
Fig. 3 The module characteristics curves for arch type according to tilt angle

2.4 성능평가 지수

태양광발전 시스템의 성능평가를 위해서는 등가 태양 일조 시

간 Y_R , 등가 태양전지 어레이 가동시간 Y_A , 등가 시스템 가동시간 Y_F , 시스템 성능계수 PR , 태양광발전 시스템의 손실 발생 요인인 어레이 손실 L_c 와 시스템 손실인 L_s 등의 성능특성을 비교 분석하여야 한다. 태양광발전 시스템의 성능평가 지수는 STC 조건 하에서 식 (16)에서 식 (21)과 같이 정의 한다[12-17].

등가 태양 일조시간 Y_R 은 태양전지 면에 일사량을 1일 동안 공급받는데 필요한 시간으로 식 (16)과 같다.

등가 태양 일조시간(Reference yield) Y_R :

$$Y_R = \frac{H_{Ad}}{G_{T,ref}} [h/d] \quad (16)$$

여기서, H_{Ad} 는 일일 평균 경사면 일사량, $G_{T,ref}$ 는 일사강도이다.

등가 태양전지 어레이 가동시간 Y_A 은 등가 일일 동안 태양전지 어레이가 정격출력으로 동작한다고 할 때, 일일 동안 동작할 수 있는 시간으로 식 (17)과 같다.

등가 태양전지 어레이 가동시간 (Array yield) Y_A :

$$Y_A = \frac{E_{Ad}}{P_{AS}} [h/d] \quad (17)$$

여기서, E_{Ad} 는 일일 평균 태양전지 어레이 출력량, P_{AS} 는 태양전지 어레이 정격출력이다.

등가 시스템 가동시간 Y_F 는 일일 동안 태양광 시스템의 평균출력량을 태양전지 어레이 정격출력으로 나눈값을 의미하며 일일 시스템이 가동할 수 있는 시간으로 식 (18)과 같다.

등가 시스템 가동시간 (Final yield) Y_F :

$$Y_F = \frac{E_{P,d}}{P_{AS}} [h/d] \quad (18)$$

여기서, $E_{P,d}$ 는 일일 평균 태양전지 시스템 출력량이다.

등가 시간을 이용하여 시스템의 성능비(Performace Ratio) PR , 태양전지 어레이 손실 (Capture losses) L_c , 시스템 손실 (System losses) L_s 을 구할 수 있다. 시스템 성능비 PR 은 손실을 고려하지 않고 실제성능과 이상적인 성능과의 비로 식 (16)과 식 (18)로부터 식 (19)가 얻어진다. 태양전지 어레이 손실 L_c 은 등가 태양 일조시간과 태양전지 어레이 가동 시간의 차로 식 (20)과 같다. 또한, 시스템 손실 L_s 은 전력변환 과정에서 발생하는 손실로 식 (21)과 같다.

$$\text{시스템 성능비 } PR : PR = \frac{Y_F}{Y_R} \times 100 [\%] \quad (19)$$

$$\text{여레이 손실 } L_C : L_C = Y_R - Y_A [h/d] \quad (20)$$

$$\text{시스템 손실 } L_S : L_S = Y_A - Y_F [h/d] \quad (21)$$

지 여레이 가동시간은 3.07~3.18[h/d]이고 등가 시스템 가동 시간은 2.83~2.90[h/d]이다.

3. 시뮬레이션 결과

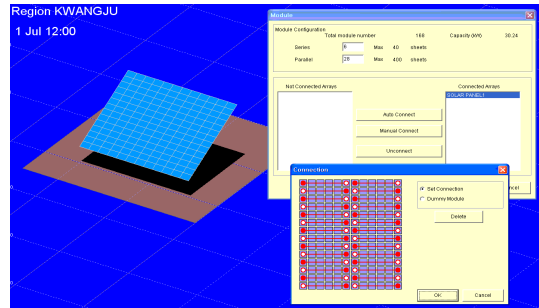
본 논문에서는 평판형과 아치형 태양전지 시스템의 성능평가를 분석하기 위하여 시뮬레이션 툴인 Solar pro를 사용하였다. 시뮬레이션은 평판형과 아치형 태양광발전 시스템에 관하여 같은 조건으로 태양전지 모듈은 180[W] 출력을 갖는 HIP-180B2(Sanyo)을 사용하였으며 방위각은 정남향으로 하고 위도 35.1°와 경도 126.92에 위치하도록 하였다. 태양전지 여레이는 168개의 모듈을 14개의 스트링과 각 스트링은 6개의 직렬과 2개의 병렬로 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 태양전지 모듈의 파라미터를 나타내고 있다. 그림 4는 평판형과 아치형 타입의 태양전지 여레이 구성을 나타내고 있다. 이 때 아치형 타입은 2가지로 첫 번째는 평판형과 같이 중앙집중식 인버터를 적용하였으며 두 번째는 멀티 스트링 방식의 인버터를 적용하였다. 태양광발전용 인버터는 그림 5와 같이 여레이와의 접속관계에 따라 중앙 집중식, 멀티스트링 방식으로 나눌 수 있다. 평판형과 아치형의 태양광발전 시스템은 대부분 중앙 집중식 방식을 적용한다. 하지만 아치형 태양광발전 시스템의 경우 각 스트링의 경사각이 서로 달라 조사되는 일사각도 또한 달라 태양전지 여레이의 출력이 다소 떨어지므로 중앙집중식과 멀티 스트링 방식에 의한 성능 평가방법의 지수를 비교분석하여 태양전지 여레이의 성능평가를 분석 하고자 하였다.

그림 6는 식 (16), 식 (17), 식 (18)에 근거한 각도별 등가 태양 일조시간, 등가 태양전지 여레이 가동시간, 등가 시스템 가동 시간을 각도별로 나타내고 있다. 그림 6의 (a)의 평판형에 대한 등가 태양 일조시간은 2.63~3.98[h/d]이고, 등가 태양전지 여레이 가동시간은 1.99~3.19[h/d]이며 등가 시스템 가동 시간은 1.83~2.94[h/d] 이다. 그림 6의 (b)는 중앙집중식 인버터를 적용한 아치형에 대한 등가 태양 일조시간은 태양 일조시간은 3.63[h/d] 좌우이고, 등가 태양전지 여레이 가동시간은 2.8[h/d] 좌우이며 등가 시스템 가동 시간은 2.65[h/d] 좌우이다. 그림 6의 (c)는 멀티스트링 방식 인버터를 적용한 아치형에 대한 등가 태양 일조시간은 3.63 [h/d] 좌우로 중앙집중식과 같으며, 등가 태양전

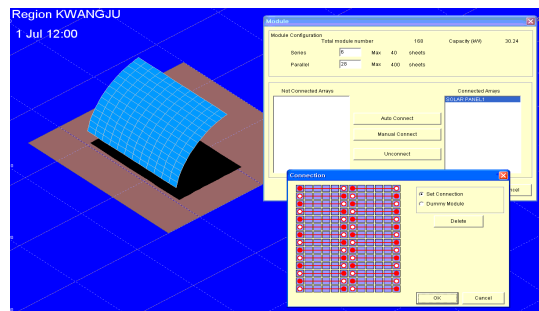
표 1 태양전지 모듈 파라미터

Table 1 Parameters of PV module

파라미터	값
효율	17.3 [%]
최대동작전력 (Pmax)	180 [W]
최대동작전압 (Vmp)	54.0 [V]
최대동작전류 (Imp)	3.33 [A]
개방전압 (Voc)	66.4 [V]
단락전류 (Isc)	3.65 [A]
모듈 효율	15.3 [%]
모듈 크기	894*1319 [mm]



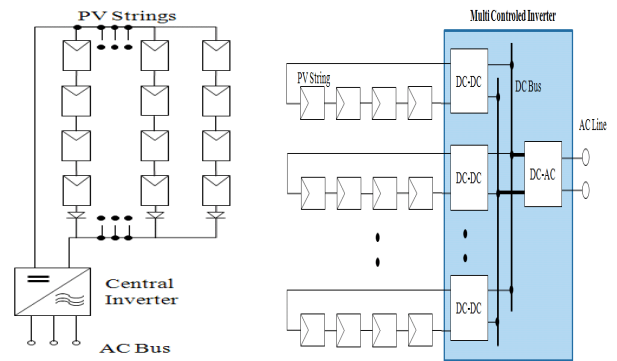
(a) 평판형



(b) 아치형

그림 4 태양전지 여레이 구성

Fig. 4 PV array configuration



(a) 중앙집중식 인버터

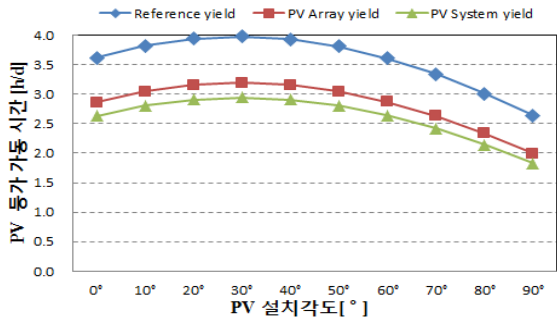
(b) 멀티스트링 인버터

그림 5 연결 방식에 따라 태양광 인버터

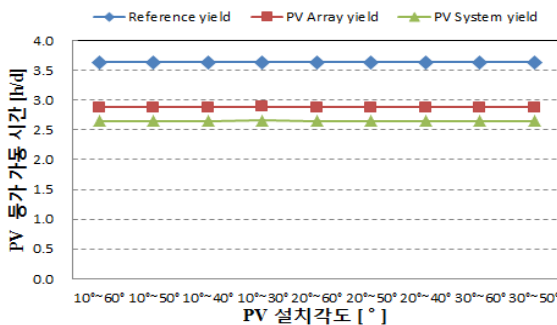
Fig. 5 PV inverter type according to the connection method

그림 7은 태양광발전 시스템의 성능비 PR, 태양전지 여레이 손실 L_C 및 시스템 손실 L_S 의 변화를 나타내고 있다. 그림 7의 (a)는 평판형 타입에 대한 PR은 46.16 ~ 74.05[%], L_C 는 19.51 ~ 49.82[%], L_S 는 4.01~6.44[%] 범위를 갖는다. 그림 7의 (b) 중앙집중식 아치형에 대한 PR은 72.90[%] 좌우이고, L_C 는 20.70[%]

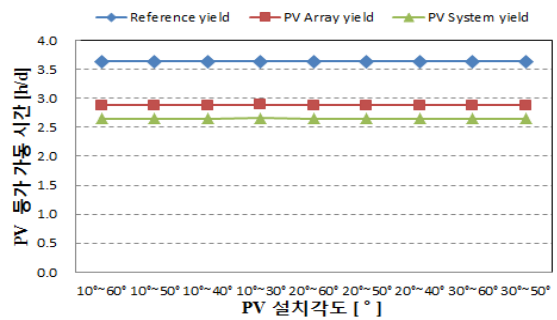
좌우이며, L_s 는 6.34[%] 좌우이다. 그림 7의 (c) 멀티스트링 아치형 타입에 대한 PR 은 77.92 ~ 80.34[%], L_c 는 12.67 ~ 15.30[%], L_s 는 6.78~6.99[%] 범위를 갖는다. 태양광발전 시스템의 성능에서 L_c 보다 L_s 가 적은 것은 태양전지 어레이는 모듈 성능과 일사강도 및 온도와 같은 환경변화에 따라 성능에 더 적은 영향을 받기 때문이다.



(a)



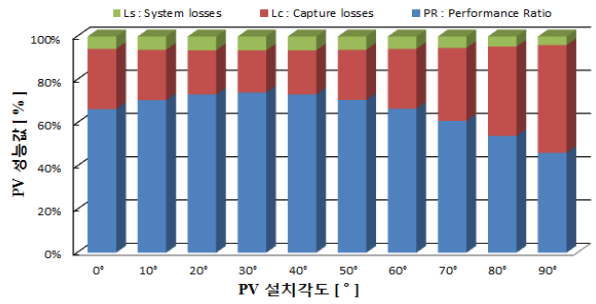
(b)



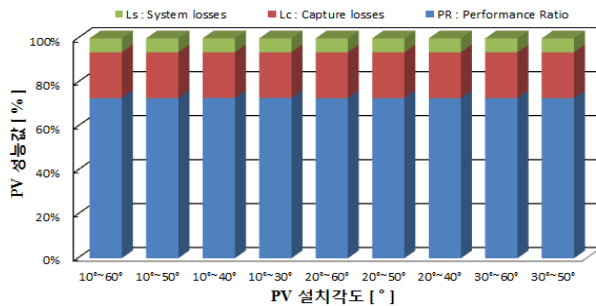
(c)

그림 6 태양광발전 시스템 설치각도별 등가 가동 시간 (a) 평판형 중앙집중식 (b) 아치형 중앙집중식 (c) 아치형 멀티스트링 방식

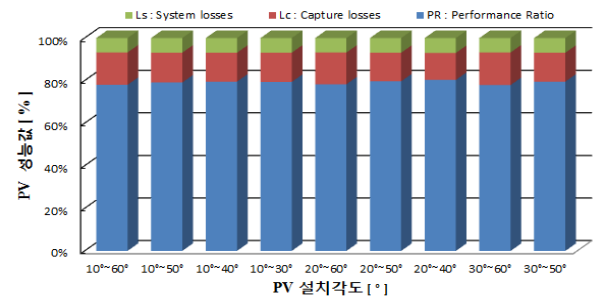
Fig. 6 The yield according to installation angle of PV system (a) Flat-plate type of central inverter method (b) Arch type of central inverter method (c) Arch type of multi-string inverter method



(a)



(b)



(c)

그림 7 태양광발전 시스템의 성능결과 (a) 평판형 중앙집중식 (b) 아치형 중앙집중식 (c) 아치형 멀티스트링 방식

Fig. 7 Performance results of PV System (a) Flat-plate type of central inverter method (b) Arch type of central inverter method (c) Arch type of multi-string inverter method

4. 결 론

본 논문에서는 평판형 태양광발전 시스템과 건축학적 미를 고려한 아치형의 태양광발전 시스템에 관한 시스템의 성능평가 지수를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 태양의 위치와 일사량에 대한 모델링을 통하여 경사각 변화에 따른 일사량의 관계를 확인할 수 있었고 경사각이 서로 불일치 한 태양전지를 직렬 연결시 각각 조사되는 일사량이 다르기 때문에 직렬연결은 효율저하의 원인이 됨을 알 수 있었다. 둘째, 평판형 태양광발전 시

시스템의 최적 각도는 30° 이고 아치형 태양광발전 시스템의 경우 최적각도는 $10^\circ \sim 30^\circ$, $20^\circ \sim 40^\circ$ 가 양호함을 확인 할 수 있었다. 셋째, 평판형 및 아치형 중규모 30[kW]급 태양광발전 시스템을 구성하고 시뮬레이션 결과 평판형 시스템의 경우에 태양광발전 시스템의 성능계수인 PR이 경사각 30° 에서 최대값 약 74[%]임을 알 수 있었다. 또한 아치형 중앙집중식 인버터와 멀티스트링 인버터 2가지 경우의 성능비를 비교 했을 때 아치각의 최적인 $20^\circ \sim 40^\circ$ 에서 PR은 각각 72.97[%]와 80.34[%]임을 알 수 있었다. 넷째, 태양전지 어레이 손실부분인 L_C 값은 최적각에서 평판형, 중앙집중식 아치형, 멀티스트링 아치형의 값이 각각 19.51[%](0.774[h/d]), 20.78[%](0.756[h/d]), 12.67[%](0.461[h/d])로 확인됨에 따라 멀티스트링 아치형이 손실이 적음을 확인하였다. 이상의 결과를 통하여 평판형이 아치형 중앙집중식 인버터를 적용하면 보다 성능이 우수하나 아치형에 멀티스트링 방식을 채택하면 손실이 감소함을 확인하였다. 향후 중규모 태양광발전 시스템에 위와 같은 조건으로 태양광발전 시스템을 적용하여 장기간 운전에 따른 성능특성을 비교 분석하고자 하며 본 연구를 통해 아치형 태양광발전 시스템의 원활한 보급과 최적 성능을 발휘할 수 있도록 시스템을 설계하기 위한 기초 자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

References

- [1] Celik B, Karatepe E, Silvestre S, et al. Analysis of spatial fixed PV arrays configurations to maximize energy harvesting in BIPV applications [J]. Renewable Energy, 2015, 75(1): 534-540.
- [2] Maturi L, Belluardo G, Moser D, et al. BIPV system performance and efficiency drops: overview on PV module temperature conditions of different module types[J]. Energy Procedia, 2014, 48(1): 1311-1319.
- [3] Aristizabal A J, Gordillo G. Performance monitoring results of the first grid-connected BIPV system in Colombia [J]. Renewable Energy, 2008, 33(11): 2475-2484.
- [4] Tom Markvart, Luis Castafier. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications [M]. Oxford, ELSEVIER, 2003.
- [5] Khalid M S, Abido M A. A novel and accurate photovoltaic simulator based on seven-parameter model [J]. Electric Power Systems Research, 2014, 116(1): 243-251.
- [6] Ziar H, Nouri M, Asaei B, et al. Analysis of overcurrent occurrence in photovoltaic modules with overlapped By-Pass diodes at partial shading [J]. Photovoltaics, IEEE Journal of, 2014, 4(2): 713-721.
- [7] Markvart T, Castafier L. Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation [M]. Oxford, ELSEVIER, 2005.
- [8] Di Dio V, La Cascia D, Micell R, et al. A mathematical model to determine the electrical energy production in photovoltaic fields under mismatch effect [C]. Clean Electrical Power, 2009 International Confere, 2009: 46-51.
- [9] Yano A, Furue A, Kadowaki M, et al. Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse [J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(2): 228-238.
- [10] Chang T P Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system [J]. Applied Energy, 2009, 86(10): 2071-2078.
- [11] Liu Hao-hui, Nobre A M, Yang Da-zhi, et al. The impact of HAZE on performance ratio and Short-Circuit current of PV systems in Singapore [J]. Photovoltaics, IEEE Journal of, 2014, 4(6): 1585-1592.
- [12] Ghiani E, Pilo F, Cossu S. On the performance ratio of photovoltaic installations [C]. PowerTech, 2013 IEEE Grenoble, 2013: 1-6.
- [13] Jung-Hun So, Young-Seok Jung, et al. Performance Analysis and Evaluation of 3kW Grid-Connected PV Systems. The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers. vol53, No.8. August, 2004:509-516
- [14] Gonzalez R, Jimenez H R, Huacuz J M. Voltage and power ratio effects of Grid-Connected PV plant's operation on the performance ratio and total system efficiency [C]. Electrical and Electronics Engineering, 2006 3rd I, 2006: 1-4.
- [15] Ueda Y, Kurokawa K, Itou T, et al. Performance ratio and yield analysis of grid connected clustered PV systems in Japan [C]. Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record, 2006: 2296-2299.
- [15] Rustu Eke A S. Monitoring the performance of single and triple junction amorphous Silicon modules in two building integrated photovoltaic (BIPV) installations[J]. Applied Energy, 2013, 109(1): 154-162.
- [16] Jae B L, Jae W P, Yoon J H, et al. An empirical study of performance characteristics of BIPV (Building Integrated Photovoltaic) system for the realization of zero energy building[J]. Energy, 2014, 66(1): 25-34.

저 자 소 개



Zheng-Guo Piao

Graduated from the Graduate School of Chosun University (master's degree), Korea, in 2005, and the Ph.D. degree in Electrical Engineering from the Graduate School of Chosun University (Ph.D., engineering), Korea, in 2010. At present in 2011: Lecturer in the North China University of Technology, Beijing, China. His research interests include Photovoltaic system design, Photovoltaic inverters, Solar cell simulators and switching module power supply techniques.

E-mail : piazg@ncut.edu.cn



최연옥(Youn-Ok Choi)

1969년 11월 8일생, 1995년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1997년 조선대학교 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 조선대학교 전기공학과 강사

E-mail : yochoi@chosun.ac.kr