

독립형 태양광 시스템에 적용한 태양광 모듈 시뮬레이션에 관한 연구

(A Study on Simulation of Photovoltaic Module for Stand-Along Photovoltaic System)

황계호* · 김원곤 · 윤종보 · 문인호 · 이봉섭 · 정도영

(Gye - Ho Hwang · Won - Gon Kim · Jong - Bo Yun · In - Ho Moon · Bong - Seob Lee · Do - Young Jung)

요 약

본 논문은 일사량과 온도의 조건에 따른 태양전지 셀의 등가회로 모델을 모델링하였고, 이를 바탕으로 제작사의 태양광 모듈을 시뮬레이션하여 비교 검토하였다. 검토결과 태양광 모듈의 사양서와 시뮬레이션 값의 오차율이 낮아 신뢰성을 확보할 수 있었으며, 또한 최적인 태양광 모듈 어레이를 시뮬레이션하여 최적인 태양전지 모듈 어레이의 규모를 선택하여 독립형 태양광 시스템을 구현하였다. 또, 특정지역에 설치시 최적인 출력전력도 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

Abstract

This paper presents the equivalent circuit model of solar cell with irradiation and temperature condition. Based on solar cell model, the photovoltaic module specification of manufacturer compare with photovoltaic module simulation and is investigated by simulation results. The obtained results indicate that residual of simulation value and specification value about photovoltaic module is lower. There is considerable validity in simulation of photovoltaic module. Thus, the optimum simulation of photovoltaic module array are studied in this paper. This paper propose the sizing optimization of photovoltaic module array for stand-alone photovoltaic system. Also, the proposed stand-alone photovoltaic system is setting in special region(in seoul). This paper presents simulation characteristic of optimization output power in seoul.

Key Words : Solar Cell, Stand-Along Photovoltaic System, Photovoltaic Module, Photovoltaic Module Array

1. 서 론

최근 고도의 산업성장과 인구증가에 따라 에너지 소비가 급증하고 이로 인해 배출되는 이산화탄소 등 온실가스의 증가는 인류의 미래를 위협하는 존재가 되어 가고 있다. 이에 대한 범지구적 차원의 대책이 논의되고 있는 실정이다. 이러한 차원에서 대체에너지

* 주저자 : (주)신성에프에이 기술연구소 선임연구원
Tel : 031-788-9278, Fax : 031-788-9590
E-mail : hgyeho@shinsung.co.kr
접수일자 : 2008년 11월 28일
1차심사 : 2008년 12월 5일
심사완료 : 2009년 1월 5일

독립형 태양광 시스템에 적용한 태양광 모듈 시뮬레이션에 관한 연구

지를 이용한 설비는 비교적 높은 초기투자의 장해요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 미국, 일본 및 유럽 등의 선진각국은 정부 주도하에 대체 에너지에 대한 과감한 보급정책과 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1,4].

따라서 태양광발전에 대한 연구는 크게 재료적인 측면에서 태양전지에 대한 연구와 응용적인 측면에서 전력변환에 대한 연구가 진행되고 있다. 태양전지에 대한 연구는 전기에너지로의 변환 효율을 상승시키기 위한 연구와 태양전지의 제조단가를 낮추기 위한 연구에 초점을 두고 진행되며, 전력변환 측면에서는 전력변환회로와 최적제어기법을 통한 변환 효율 및 고성능화에 관심을 집중하여 연구를 하고 있다[1-6].

태양광발전 시스템은 태양전지를 설치할 수 있는 넓은 공간이 절대적으로 필요하고 그 공간이 확보되었다더라도 태양광 발전이 갖고 있는 특성은 일사량과 온도 등의 변화에 따라서 크게 변화되므로 동일 조건에서의 재현이 불가능하다는 단점이 있다[1,5].

이에 본 논문은 임의의 일사량 및 온도 등의 조건에 따라 태양전지의 출력특성을 전기적으로 시뮬레이션하여 제작사의 태양광 모듈의 파라미터와 비교 검토하고, 태양광 모듈 어레이를 시뮬레이션하여 최적의 태양광 모듈 어레이의 규모를 선택하여 독립형 태양광 시스템을 구현하고자 한다. 또한, 특정지역에 설치시 일사량과 온도에 대한 최적인 출력전력도 시뮬레이션을 통하여 알아보하고자 한다.

2. 본 론

2.1 독립형 태양광 시스템[4]

태양광 발전 시스템은 크게 상용전력계통 연계유무에 따라 계통연계형 태양광 시스템과 독립형 태양광 시스템, 일부의 경우 풍력발전, 디젤발전등 타 에너지원에 의한 발전방식과 결합된 하이브리드형 태양광 시스템으로 분류할 수 있다.

태양광 발전시스템은 일사량과 온도 등에 의존하여 직류전력을 발전하는 태양전지 셀과 발전된 전력

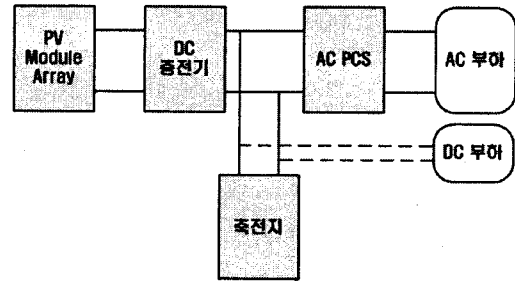


그림 1. 독립형 태양광 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram of stand-alone Photovoltaic system

을 부하에 공급하기 위한 부하 매칭의 기본 기능을 요구하고 있다. 이러한 기본기능은 일사량에 의존하여 직류전력을 발전하는 태양광 모듈 어레이, 발전한 전기를 저장하는 전력저장 축전기능, 발전한 직류를 교류로 변환하는 인버팅 기능과 전력품질 및 보호기능을 갖는 PCS(Power Conditioning System) 기능, 전력계통이나 다른 전원에 의한 백업기능, 발전된 전력을 공급하기 위한 대상부하로 구성되어 있다.

그림 1은 독립형 태양광 발전시스템의 블록도를 보여 주고 있다. 그림 1에서 보듯이 부하 대상에 따라 DC 부하만 사용하는 경우와 AC/DC 부하를 사용할 경우를 볼 수 있다.

독립형 태양광 시스템(Stand-alone PV system)은 계통선이 공급되지 않는 산간벽지, 도서지역, 등대, 중계소 등에 전력을 공급하기 위한 시스템으로 주간에 발생시켜 사용하고 남은 전력을 축전지에 저장하였다가 야간에 사용하게 되며, 부하의 종류와 시스템의 구성에 따라서 직류부하용, 교류부하용, 보조발전기 보완형 시스템으로 분류가 된다.

본 논문에서는 교류부하를 갖는 독립형 태양광 발전시스템을 구축하고자 한다.

2.2 태양전지 모델링

그림 2는 태양전지 셀, 태양광 모듈, 태양광 모듈 어레이의 관계를 보여주고 있다. 그림 2에서 보듯이 태양전지 셀은 광기전력 효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 태양의 광(빛)에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 기능을 가진 최소단위로서 태양전지

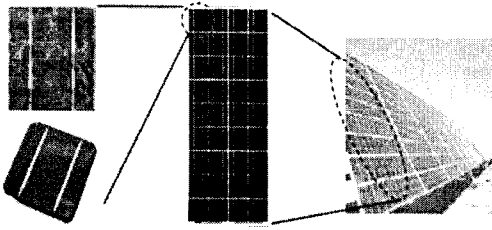


그림 2. 태양전지 셀, 태양광 모듈, 태양광 모듈 어레이
Fig. 2. Solar cell, photovoltaic module, photovoltaic module array

셀이 그 기본이 된다. 태양전지 셀은 10~15[cm] 각 판상의 실리콘에 p-n 접합을 형성한 반도체의 일종이다.

태양광 모듈은 수십개의 태양전지 셀을 일정한 틀에 고정하여 구성하는 것으로 태양광 모듈 안에 태양전지 셀을 묶어서 소정의 전압, 출력을 얻을 수 있다.

태양광 모듈 어레이는 태양광 모듈을 조합하여 지붕이나 지상에 설치한 태양전지 전체를 말한다. 태양광 모듈 어레이는 복수 개의 태양광 모듈을 직/병렬로 접속하여 원하는 직류전압과 발전전력을 얻을 수 있도록 구성한다.

그림 3은 태양전지의 발전원리를 토대로 p-n접합 태양전지 셀의 등가 회로를 보여주고 있다. 그림 3에서 보듯이 발전을 하는 전류원과 다이오드로 등가 모델링을 할 수 있으며, 이를 통해 광조사시 부하에 출력되는 전류(I)를 구하면 식 (1)과 같다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

여기서 I_{ph} 는 광기전류, I_0 은 역포화전류, I 는 태양전지 출력전류, V 는 태양전지 셀의 출력전압, R_{sh} 는 병

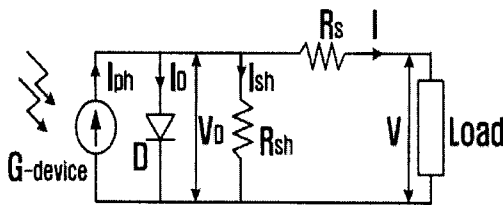


그림 3. 태양전지 셀 등가회로 모델
Fig. 3. Equivalent circuit of Solar cell

렬저항, R_s 는 직렬저항, 그리고 T 는 표면온도이다.

태양전지 모델링 방법은 매개변수형과 보간형에서 변형된 방법이 존재한다. 매개 변수형 태양전지를 모델링하기 위해서는 제조상수 및 여러 가지 상수가 필요하다. 여기에서 매개변수형 모델은 일사량과 온도 외의 이론적 파라미터를 이용할 수 있다는 특징이 있다.

태양 전지의 발전특성은 여러 가지 환경적 요소 중에서 특히 셀의 온도와 일사량에 가장 의존적이다. 일사량의 증가는 같은 동작점에 대해서 출력 레벨이 상승하게 되고 일사량이 감소하면 출력은 감소하게 된다. 이는 일사량과 태양전지 단락전류와의 관계에 기인하게 된다. 또한 온도에 의해서도 태양전지의 출력이 변화하는데 그 변화하는 양상은 일사량 변동시와 달리 온도가 상승할수록 태양전지 개방전압이 하강하게 되고 결과적으로 I-V곡선은 온도상승에 따라 P-V곡선은 왼쪽으로 이동하는 경향이 된다.

2.3 태양광 모듈 시뮬레이션

태양광 모듈은 그림 3의 다수의 태양전지 셀의 등가회로로 모델을 직렬/병렬로 연결 구성한 구조이다. 따라서 그림 4는 태양 전지 셀의 등가회로 모델로부터 식 (1)을 이용하여 모델링하여 수치해석방법을 적용하여 시뮬레이션한 태양광 모듈의 I-V 특성곡선을 보여주고 있다.

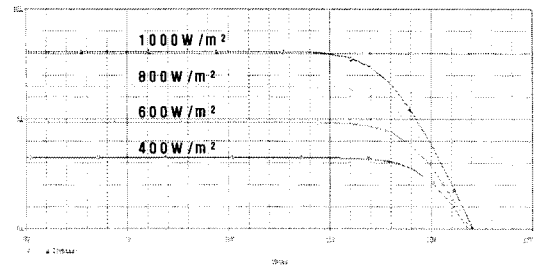


그림 4. 태양광 모듈의 I-V 특성곡선(시뮬레이션)
Fig. 4. I-V characteristic of PV module (simulation)

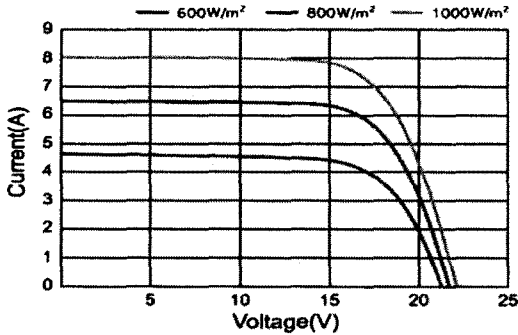


그림 5. 태양광 모듈의 I-V 특성곡선(카탈로그)
Fig. 5. I-V characteristic of PV module(catalog)

그림 5는 그림 3의 태양전지 셀을 기본으로 하여 36개의 태양전지 셀을 직렬 연결하여 제작되어진 A 제조사의 태양광 모듈의 I-V 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 4와 그림 5에서 볼 수 있듯이 태양광 모듈에 대한 제조사의 제공 I-V 특성곡선과 시뮬레이션 I-V 특성곡선이 양호한 특성을 보여 주고 있으며, 표 1은 제조사 태양광 모듈의 사양서와 이에 대한 시뮬레이션 값을 나타내고 있다.

표 1. 태양광 모듈 제품의 데이터와 시뮬레이션 값
Table 1. Specification and simulation value of PV module product

Item	카탈로그	시뮬레이션
정격출력(Wp)[W]	125	125.86
정격전압(Vmp)[V]	17.2	17
정격전류(Impp)[A]	7.3	7.4
개방전압(Voc)[V]	21.6	21.9
단락전류(Isc)[A]	8.05	8.02

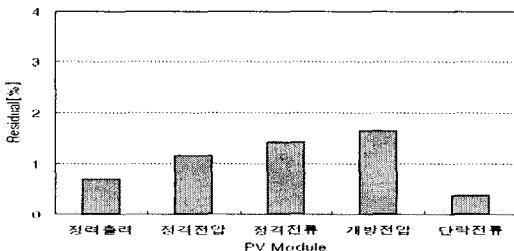


그림 6. 태양광 모듈의 성능분석(오차률)
Fig. 6. Characteristic analysis of PV module (residual)

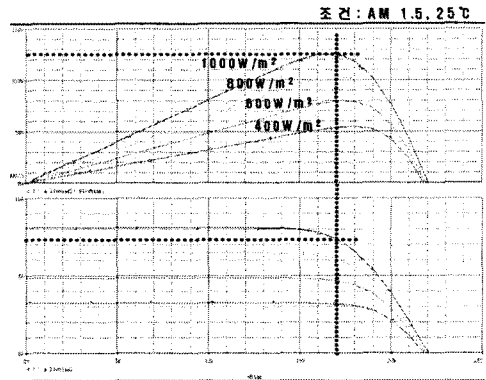


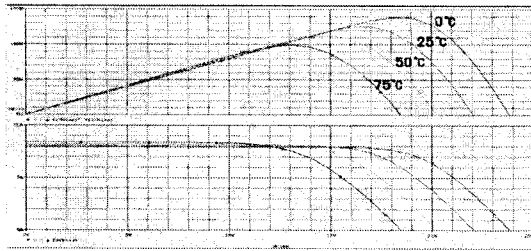
그림 7. 태양광 모듈의 P-V, I-V 특성곡선(시뮬레이션)
Fig. 7. P-V, I-V characteristic of PV module (simulation)

그림 6은 태양광 모듈 성능해석의 결과를 보여주고 있다. 그림 6에서 보듯이 시뮬레이션 오차율이 2%이하로 낮아 모델링의 신뢰성이 가능함을 알 수 있다. 이에 오차율을 줄일 수 있는 방법은 제작상의 파라미터를 제작사에서 얻어 파라미터에 접근하면 오차율을 상당히 줄일 수 있다.

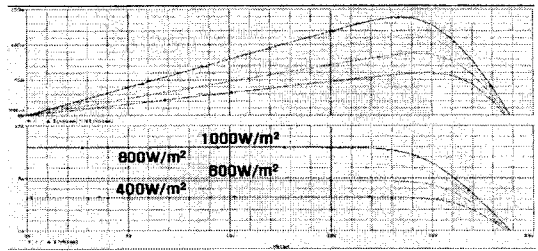
그림 7은 태양전지 셀의 온도, 일사량에 따른 출력 특성을 알아보기 위하여 125[W] 태양광 모듈의 P-V, I-V 시뮬레이션 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 7에서 보듯이 실제 MPPT(Maximum Power Point Tracker)에서 태양전지 모듈의 최대 출력이 125.86[W]이고 이에 대한 파라미터는 표 1에 나타나고 있다.

그림 8은 각 일사량에 대한 온도변화에 따른 태양광 모듈의 P-V, I-V 시뮬레이션 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 8에서 보듯이 각 일사량에 대해 온도가 낮은 겨울에 개방전압이 크게 나타나고, 온도가 높은 여름에 개방전압이 낮아지는 특성을 알 수 있다.

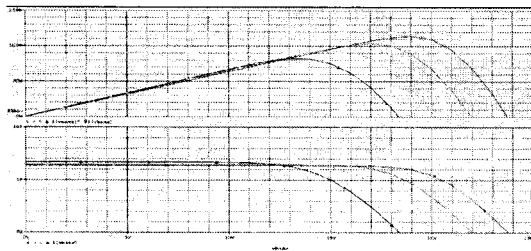
그림 9는 각 온도에 대한 일사량 변화에 따른 태양광 모듈의 P-V, I-V 시뮬레이션 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 9에서 보듯이 각 온도에 대해 일사량이 많은 경우 개방전류가 크게 나타나고, 일사량이 적은 경우 개방전류가 낮아지는 특성을 알 수 있다. 이는 온도가 계절, 개방전압과 관계가 있고, 일사량은 일간(오전, 오후), 개방전류와 관계가 있음을 알



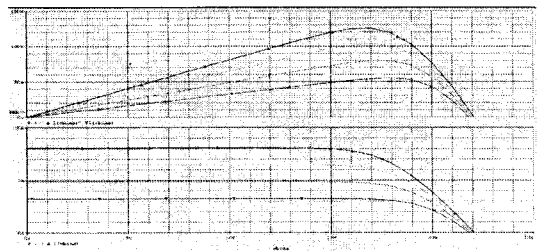
(a) 일사강도: 1000(W/m²)



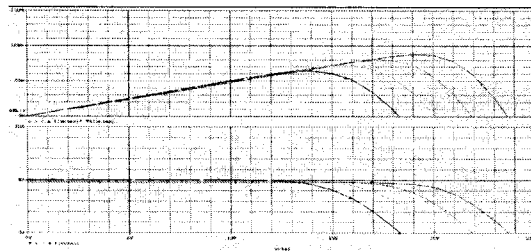
(a) 온도: 0(°C)



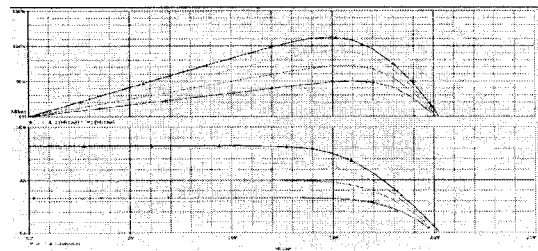
(b) 일사강도: 800(W/m²)



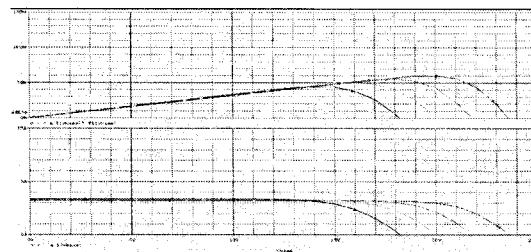
(b) 온도: 25(°C)



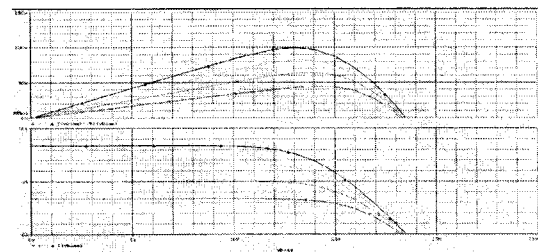
(c) 일사강도: 600(W/m²)



(c) 온도: 50(°C)



(d) 일사강도: 400(W/m²)



(d) 온도: 75(°C)

그림 8. 태양광 모듈의 P-V, I-V 특성곡선
(시뮬레이션 : 일사량변화)
Fig. 8. I-V characteristic of PV module
(simulation : irradiation)

그림 9. 태양광 모듈의 P-V, I-V 특성곡선
(시뮬레이션 : 온도변화)
Fig. 9. I-V characteristic of PV module
(simulation : temperature)

수 있다.

그림 8과 그림 9는 날씨와 계절의 변화에 대한 태양광 모듈의 특성을 알 수 있고, 또한, 제조사에서 제

공되지 않는 자료를 시뮬레이션을 이용하여 얻을 수 있고, 이는 현장 적용에 유용한 자료로 활용 가능함을 알 수 있다.

2.4 태양광 모듈 어레이 시뮬레이션

그림 10은 독립형 태양광 시스템을 구현하기 위한 태양광 모듈 어레이의 블록도를 보여 주고 있다. 그림 10에서 보듯이 250[W] 태양광 모듈 어레이를 구현하기 위해서는 대략 125[W] 태양광 모듈을 2개 직렬 연결하여 구성하였다.

그림 11은 태양전지 셀의 온도, 일사량에 따른 출력특성을 알아보기 위하여 태양광 모듈 어레이의 P-V, I-V시뮬레이션 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 11에서 보듯이 실제 MPPT에서 태양전지 모듈 어레이의 최대 출력이 250[W]임을 알 수 있다.

그림 12는 계절변화에 대한 태양광 모듈 어레이의 일사량과 온도에 대한 P-V, I-V 특성곡선을 보여주고 있다. 그림 12에서 보듯이 (a)는 여름철(일사량이 많고)에 온도의 변화에 대해 태양광 모듈 어레이의 특성을, (b)는 겨울철(온도가 낮고)에 일사량에 대한 태양광 모듈 어레이의 특성을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다.

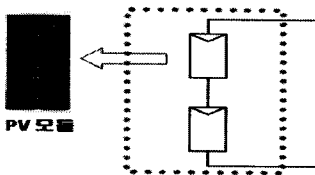


그림 10. 태양광 모듈 어레이의 블록도
Fig. 10. Block diagram of PV module array

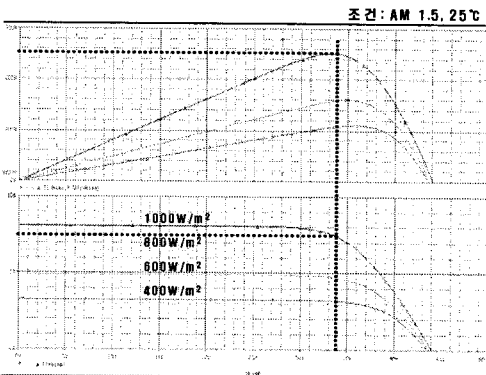
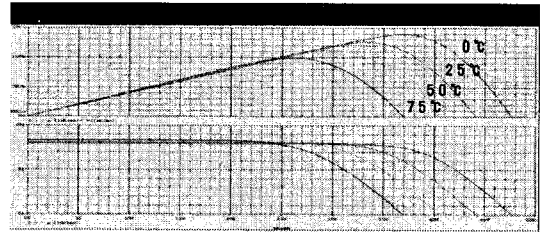
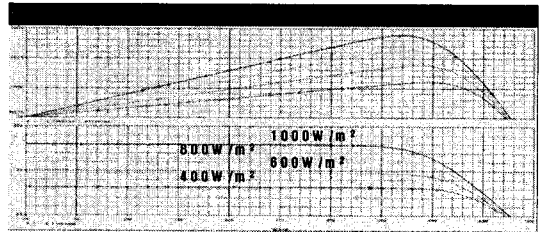


그림 11. 태양광 모듈 어레이의 P-V, I-V 특성곡선 (시뮬레이션)
Fig. 11. P-V, I-V characteristic of PV module array(simulation)



a) 일사강도



(b) 온도

그림 12. 태양광 모듈 어레이의 시뮬레이션 특성곡선
Fig. 12. Simulation characteristic of PV module array

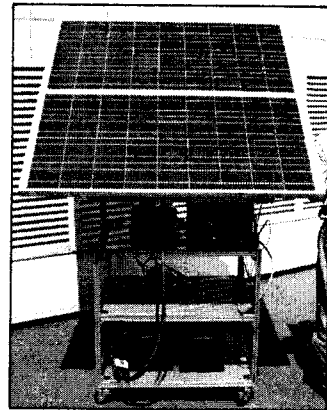


그림 13. 독립형 태양광 시스템 시제품
Fig. 13. Prototype of stand-alone Photovoltaic system

본 논문에서는 이를 바탕으로 A사의 125[W] 태양전지 모듈 2개를 직렬로 접속한 태양광 모듈 어레이와 배터리를 24[V]로 구성되도록 구현하였다.

그림 13은 시뮬레이션을 통해 실현된 독립형 태양광시스템을 실제 구현한 사진을 보여주고 있다.

그림 14는 그림 13의 태양광 모듈 어레이를 사용하여 서울지역에서 경사 33도로 설치시 월간 최대전

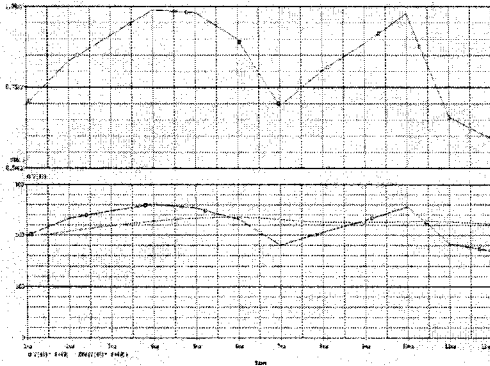


그림 14. 서울지역 최대 출력전력 특성곡선
Fig. 14. Pmax simulation characteristic in seoul

력 특성을 보여주고 있다. 그림 14에서 보듯이 태양광 모듈 어레이 설치시 시뮬레이션을 통해 최대전력 특성과 평균 최대 전력을 알 수 있어 현장에서 큰 도움이 될 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 일사량과 온도의 조건에 따른 태양전지 셀의 등가회로 모델을 모델링하였고, 이를 바탕으로 제작사의 태양광 모듈을 시뮬레이션하여 그 값을 비교 검토하였다. 검토결과 시뮬레이션의 오차율이 2%이하로 신뢰성을 확보할 수 있었으며, 또한 최적인 태양광 모듈 어레이를 시뮬레이션하여 최적인 태양전지 모듈 어레이의 규모를 선택하여 독립형 태양광 시스템을 구현하였다. 또, 서울지역에 설치시 일사량과 온도에 대한 최적인 출력전력도 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다. 향후, 태양광 모듈 어레이를 이용한 실험을 통한 분석이 필요하다고 생각된다.

References

[1] 산자부, “신재생에너지 RD&D 전략 2030 [태양광]”, 2007.
 [2] F. Nakanishi, T. Ikegami, K. Ebihara, S. Kuriyama, Y. Shoit, “Modeling and Operation of a 10kW Photovoltaic power generator using equivalent electric circuit method”, Photovoltaic specialists conference, conference record of the twenty-eighth IEEE, pp.1703-1706, Sept. 2000.
 [3] R. Katan, V. C. Agelidis, C. V. Nayar, “Pspice modeling of photovoltaic arrays”, International Journal Electrical Engineering Education, pp.319-332, Oct, 1995.

[4] 이 준신, 김 경해, “태양전지공학”, 그린도서출판사.
 [5] 소정훈, 유병규, 황혜미, 유권중, 최주엽, “태양광모듈의 모델링 및 성능해석 결과비교”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1128-1129, 2008.
 [6] L. L. Bucclarelli, “The Energy associated with the use of maximum power tracker in a 100kW peak power system”, IEEE PV Specialists conference, 1980.

◇ 저자소개 ◇

황계호 (黃啓鎬)

1972년 4월 7일생. 1997년 강원대 삼척캠퍼스 공대 제어계측공학과 졸업. 1999년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 9월~2008년 7월 (주)신성홀딩스 기술연구소 선임연구원. 2008년 8월~현재 (주)신성에프에이 기술연구소 선임연구원.

김원곤 (金元坤)

1975년 7월 5일생. 2003년 경남대 전자공학과 졸업. 2007년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 6월~2005년 5월 한국전기연구원 메카트로닉스연구그룹 위촉연구원. 2005년 5월~2008년 7월 (주)신성홀딩스 기술연구소 선임연구원. 2008년 8월~현재 (주)신성에프에이 기술연구소 선임연구원.

윤중보 (尹鍾普)

1967년 9월 2일생. 1995년 부경대 공대 전자공학과 졸업. 1997년 부산대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2007년~현재 한양대 대학원 전기공학과 박사과정. 1997년 7월~2008년 7월 (주)신성홀딩스 기술연구소 책임연구원. 2008년 8월~현재 (주)신성에프에이 기술연구소 책임연구원.

문인호 (文仁浩)

1963년 3월 24일생. 1991년 부경대 공대 기계공학과 졸업. 2006년 성균관대 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1990년 9월~2008년 7월 (주)신성홀딩스 기술연구소 수석연구원. 2008년~현재 한국실내 환경학회 이사, 한국공기 청정연구조합 전문위원. 2008년 8월~현재 (주)신성에프에이 기술연구소 소장.

이봉섭 (李奉燮)

1965년 9월 19일생. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 공학대학 전기제어공학부 교수.

정도영 (鄭道永)

1956년 8월 13일생. 1981년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997~1998년 Ohio state university 교환교수, 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 공학대학 전기제어공학부 교수.