

태양광 발전시스템 모의를 위한 PV simulator 개발

박해용*, 이석주*, 김재호*, 박민원*, 유인근*
국립창원대학교 전기공학전문전공*

Development of PV power generation system simulator

Hae-Yong Park*, Seok-Ju Lee*, Jae-Ho Kim*, Minwon Park*, In-Keun Yu*
Dept. of Electrical Engineering, Changwon National University*

Abstract - In recent years, the research and development for the photovoltaic(PV) energy system are making rapidly progress around the world and specially this country, too due the deregulation law for the renewable energy system seems to be born sooner or later. If we can study PV generation system regardless of weather condition, we will study much more efficiently.

This paper introduces the algorithm of PV power generation system simulator and the results of simulation by using PSCAD/EMTDC. In next paper, authors will prove the algorithm of PV simulator proposed in this paper by making real simulator and getting the result of experiment.

1. 서 론

최근 에너지자원의 이용증가와 매장된 에너지자원의 한계성으로 인하여 대체에너지 자원 중의 하나로써 태양에너지를 이용한 전기에너지의 생산 메커니즘(Photovoltaic Generation System)에 관한 연구·개발이 활발히 추진되고 있다. 태양광발전은 깨끗하고 안전하며, 연료의 수송, 운전 및 보수가 불필요한 에너지자원으로써 무한정으로 전기를 얻을 수 있는 미래의 에너지원이다. 따라서 국내에서도 폭넓은 보급을 위해 특성 및 제어에 관한 전반적인 연구가 활발히 진행되고 있다.

태양광발전시스템의 연구에 있어 기후조건은 절대적인 요인이다. 일사량, 온도, 구름, 등 이러한 요인들은 자연적인 것들이어서 인위적으로 변경할 수 있는 것이 아니다. 따라서 일사량이 없는 밤 시간 및 일사량이 매우 낮은 흐린 날은 연구를 진행할 수 없다. 따라서 실제 태양광모듈과 같은 출력을 내는 모의장치가 있다면, 관련연구를 효과적이고 지속적으로 수행할 수 있을 것이다.

본 논문에서 소개하는 PV simulator는 태양광특성방정식을 이용하여 태양광모듈과 특성이 같은 출력을 내는 전원장치이다. 전력변환장치에서 출력되는 전류를 피드백 받아 태양광특성방정식에 의해 계산된 전압으로 제어하는 방법이다. 설계된 용량에 따라 태양광 발전시스템과 같은 출력을 발생시킴으로써 대용량 태양광발전 모의실험에 아주 효과적일 것이다.

저자는 본 논문에서 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 결과를 바탕으로 PV simulator 알고리즘을 증명할 것이다.

2. PV simulator 알고리즘

2.1 태양광특성방정식

식 1은 태양전지의 출력전류를 나타내고 식 2는 다이오드의 포화전류를 나타낸다. 식 1, 2로부터 태양전지의 출력전류에 대한 출력전압방정식 3을 도출 할 수 있다[1-2].

$$I = I_{sc} - I_{os} \left\{ \exp \left[\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T} \right] - 1 \right\} - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_{os} = AT^r \exp \left(\frac{-E_g}{n \cdot k \cdot T} \right) \quad (2)$$

$$V = f(i) \quad (3)$$

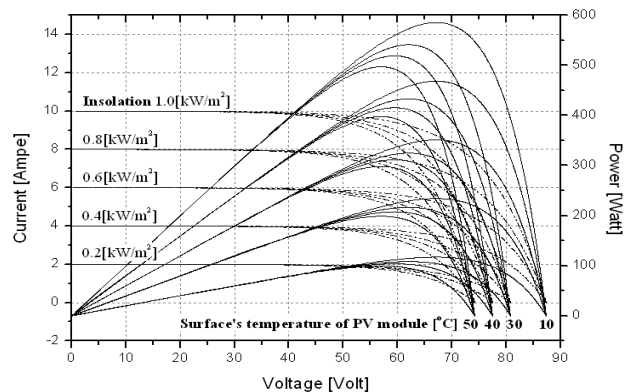
NOMENCLATURE

- I Current flowing into load [A]
- I_{sc} Short-circuit current [A]
- I_{os} Saturation current [A]
- q Electron charge. 1.6e-19 [C]

- r Temperature dependency exponent
- T PN junction temperature [K]
- V Across voltage of solar cell [Volt]
- E_g Energy gap [eV]
- k Boltzman constant
- A Temperature constant
- n Junction constant
- i output current of PV module

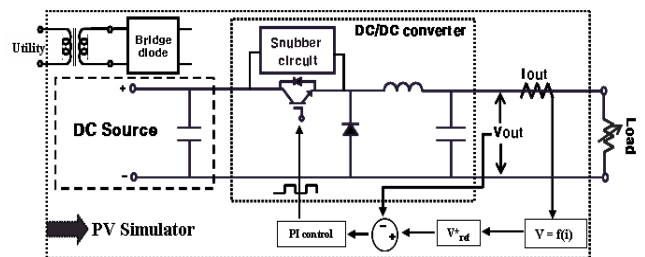
2.2 태양광모듈의 이론적 V-I-P 특성곡선

태양광특성방정식을 통해 이론적 V-I-P 특성곡선을 그릴 수 있다. 그림 1은 600W급 태양광 어레이에 대한 V-I-P 특성곡선이다. 일사량과 표면온도에 따라 태양광출력특성이 변하는 것을 보여주고 있다.



〈그림 1〉 태양광모듈의 V-I-P 특성곡선

2.3 PV simulator 알고리즘



〈그림 2〉 PV simulator 개념도

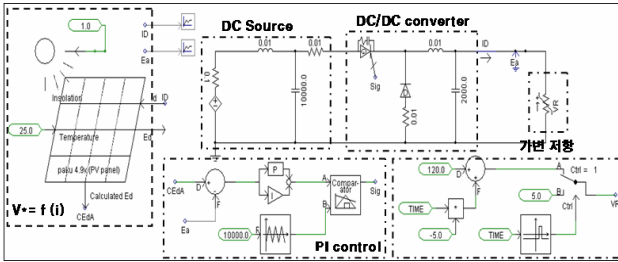
그림 2는 PV simulator의 개념도를 보여준다. PV simulator는 DC/DC converter의 출력전류를 피드백 받아 태양광특성방정식에 의해 출력전류와 대응되는 전압을 계산한다. 계산된 전압과 DC/DC converter 출력전압을 비교해서 최종적으로 DC/DC converter 출력전압을 태양광발전출력특성과 같은 출력전압으로 제어하는 방식이다.

태양광발전은 직류발전을 하므로 전원은 DC source가 필요하다. DC source는 교류전원을 직류전원으로 정류하여 모의할 태양광발전의 용량에 따라 다양하게 제작 가능하다. DC/DC converter의 출력단자에 가변 저항을 연결하여 Open-circuit에서 Shorted-circuit이 되도록 가변저항을 조절 한다면 실제 태양광발전시스템에서 출력되는 V-I-P 특성과 같은 출력특성을 낼 수 있다[3-5].

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 PV simulator 시뮬레이션

3.1 V-I-P특성곡선 시뮬레이션 회로도

그림 3은 PSCAD/EMTDC에서의 PV simulator 회로도이다. 회로도상의 태양광모듈 콤포넨트는 DC/DC converter의 출력전류를 피드백 받아 제어할 기준전압을 계산하게 된다[5-6]. 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

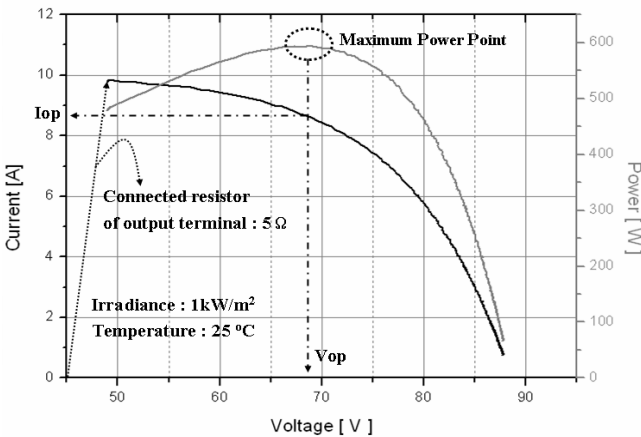


〈그림 3〉 PV simulator 시뮬레이션 회로도

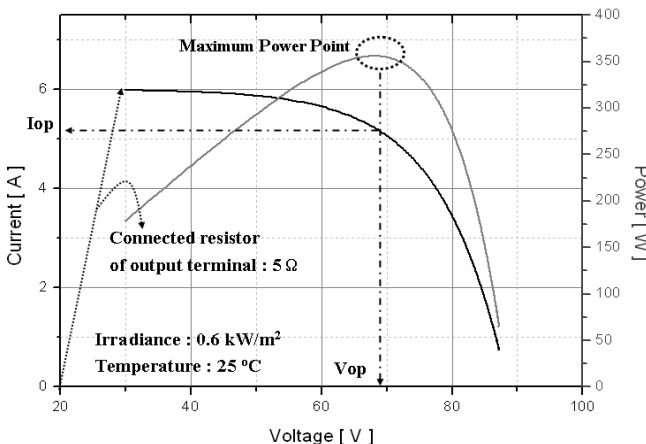
〈표 1〉 시뮬레이션조건

동일	발전용량	600W	Voc, Isc	86V, 10A
	모듈연결	직렬×병렬(2×2)	표면온도	25°C
가변	일사량(kW/m ²)	1.0	0.6	0.2
	가변저항(Ω)	120 => 5	120 => 5	120 => 15

3.2 V-I-P특성곡선 시뮬레이션 결과

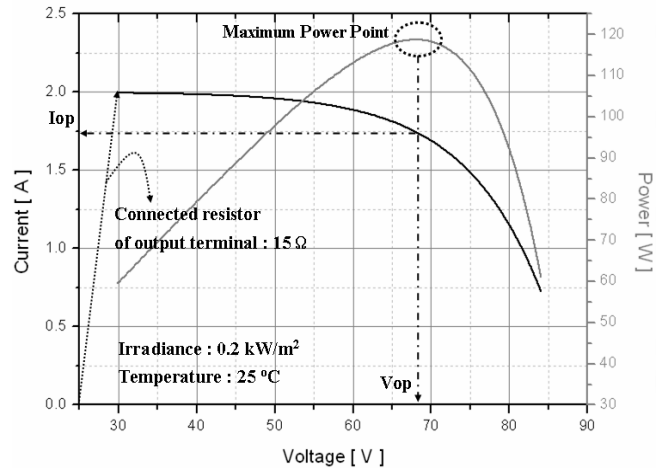


〈그림 4〉 PV simulator의 V-I-P 특성곡선 (일사량:1.0kW/m²)



〈그림 5〉 PV simulator의 V-I-P 특성곡선 (일사량:0.6kW/m²)

그림 4, 5의 시뮬레이션에서 가변 최소저항은 5Ω 이다. PV simulator 출력단자에 연결된 저항이 점점 작아질수록 전류는 점점 증가하게 되고, DC/DC converter에 입력되는 PWM(Pulse Wide Modulation)의 Duty_ratio도 점점 증가하게 된다. 따라서 주어진 태양광발전용량에서 최소저항 이하로 가변되면 프로세서가 Full-on 상태에 도달하게 된다. 그림 6에서는 일사량 조건 0.2kW/m² 이고, 여기서 출력되는 Shorted-circuit 전류는 2A, 가변 최소저항은 15Ω 이다. 일사조건에 의해 출력전류가 감소할수록 최소 가변 할 수 있는 저항은 커지게 된다.



〈그림 6〉 PV simulator의 V-I-P 특성곡선 (일사량:0.2kW/m²)

4. 결 론

태양광발전시스템은 자연환경의 요인에 절대적인 영향을 받는다. 따라서 태양광발전시스템을 연구하는 연구자는 원하는 실험조건과 그에 따른 연구결과를 얻는데 많은 제약이 따른다[7-9]. 따라서 태양광 발전을 모의 할 수 있는 실험 장비의 필요성이 크게 요구 된다. 태양광발전모의 실험 장치인 PV simulator는 이러한 제약조건에서 벗어나게 해줄 것이다. 또한 대용량 태양광발전을 모의할 경우 큰 비용절감 효과를 가져 올 수 있을 것이다.

본 논문에서 태양광발전 모의실험장치 PV simulator의 알고리즘을 설명하였고, PSCAD/EMTDC를 이용하여 태양광모듈 V-I-P 특성곡선을 시뮬레이션으로 증명하였다. 저자는 실제 PV simulator를 제작하여 시뮬레이션 결과와 비교 증명할 것이다. 그리고 태양광발전 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어 모의실험을 계획 하고 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 수행하는 "분산전원의 미래형 배전망 적용 기술개발 지원 사업"에 의해서 수행된 것임.

[참 고 문 헌]

- [1] Martin A. Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Applications", 1982 by Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 07632
- [2] Richard C. Neville, "Solar Energy Conversion: The Solar Cell", 1980 by Elsevier Scientific Publishing Company
- [3] Monji G. Jaboori, Mohamed M. Saied, Adel A. R. Hanafy, "A Contribution to the Simulation and Design Optimization of Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 3, pp.401-406, September 1991
- [4] M. Muselli, G. Notton, P. Poggi, A. Louche, "PV-hybrid power systems sizing incorporating battery storage: an analysis via simulation calculations", Renewable Energy 20(2000) 1-7
- [5] Kame Khouzam, Keith Hoffman, "Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation System Using RTDS", IEEE Transactions of Energy Conversion, Vol. 19, No. 6, pp.521-526, 1996
- [6] [PSCAD/EMTDC Power System Simulation Soft-ware Manual], Manitoba HVDC Research Centre
- [7] Minwon Park, In-Keun Yu, "Simulation Method of Photovoltaic Generation Systems Using EMTP Type Simulations", Trans. KIEE, Vol 54B, No. 6, pp. 303-308, 2005
- [8] Minwon Park, In-Keun Yu, "A Novel Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation Systems using RTDS", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19, No. 1, pp. 164-169, 2004
- [9] Minwon Park, Kenji Matsuura, Masakazu Michihira, "A Novel Simulation Method for PV cell using Field Data", Trans. on IEE Japan, Vol. 121-B, No.2, pp. 262-263, 2001