

RTDS를 이용한 단독운전 태양광 발전시스템의 실시간 시뮬레이션

김봉태*, 이재득*, 박민원**, 성기철***, 유인근*
 *창원대학교, **오사카대학, ***한국전기연구원

A Real-Time Simulation Method for Stand-Alone
 PV Generation Systems using RTDS

Bong-Tae Kim*, Jae-Deuk Lee*, Minwon Park**, Ki-Chul Seong***, In-Keun Yu*
 *Changwon National University, **Osaka University, ***KERI

Abstract - In order to verify the efficiency or availability and stability of photovoltaic(PV) generation systems, huge system apparatuses are needed, in general, in which an actual size of solar panel, a type of converter system and some amount of load facilities should be installed in a particular location. It is also hardly possible to compare a Maximum Power Point Tracking (MPPT) control scheme with others under the same weather and load conditions in an actual PV generation system. The only and a possible way to bring above-mentioned problem to be solved is to realize a transient simulation scheme for PV generation systems using real weather conditions such as insolation and surface temperature of solar cell.

The authors, in this paper, introduces a novel simulation method, which is based on a real-time digital simulator (RTDS), for PV generation systems under the real weather conditions. Firstly, VI characteristic equation of a solar cell is developed as an empirical formula and reconstructed in the RTDS system, then the real data of weather conditions are interfaced to the analogue inputs of the RTDS.

The outcomes of the simulation demonstrate the effectiveness of the proposed simulation scheme in this paper. The results shows that the cost effective verifying for the efficiency or availability and stability of PV generation systems and the comparison research of various control schemes like MPPT under the same real weather conditions are possible.

1. 서 론

최근 지구환경문제가 크게 대두됨에 따라 대체에너지에 대한 필요성이 증대되고 있다. 특히 태양광발전시스템은 태양광 셀 제조기술 및 시스템에 대한 기술의 향상으로 대체에너지 중에서도 연평균 40%대의 급속한 성장을 이루고 있는 기술로 인정받고 있다. 따라서 점점 새로운 시장에서 이용할 수 있게 되었다[1]. 그러나 태양광발전시스템을 확대보급하기 위해서는 다음과 같은 문제점들을 개선해야 한다.

- 1) 설치비용이 비싸다.
- 2) 기상조건에 직접적으로 영향을 받는다.
- 3) 시스템의 효율이 낮다.

한편, 태양광발전시스템을 도입하기 위해서 수많은 시범보급사업이 실시되고 있으며 국내에서도 1993년 제주 월령 시범단지 건설을 시작으로 10여개소에서 실시되고 있다. 그러나 시범 보급사업에는 막대한 예산이 소요되기 때문에 본 논문에서는 이를 간략히 해결할 수 있는 방법을 개발하였다.

즉, RTDS를 이용하여 태양광 발전시스템을 효과적으로 모의할 수 있음은 물론 기타 다양한 제어설계에 대한 비교연구도 가능하다는 것을 입증하였다.

2. RTDS 시뮬레이션

2.1 시뮬레이터의 구성

EMTP, EMTDC 그리고 RTDS의 경우에는 전원으로 전압원과 전류원을 이용할 수 있다[2-4]. 그러나, 태양전지를 포함한 분산형 전원은 전압원 또는 전류원 만으로는 표현이 불가능한 전압전류 특성방정식으로 표현해야하는 전원으로 분류된다. 결과적으로 전압전류 특성방정식으로 표현된 전원이 시뮬레이션을 통해서 실현 가능하게 된다면 태양전지를 포함한 분산형 전원시스템의 모의 실험이 EMTP, EMTDC 그리고 RTDS 상에서 가능하게 된다. 이러한 독특한 시뮬레이션 방법을 이용하여 RTDS 상에서 태양전지의 모델링을 가능하게 하였으며, 실제 태양전지를 통한 실험결과 값과 본 시뮬레이션 법을 통한 결과 값을 비교하여 만족할 결과를 얻을 수 있었다.

태양전지의 전압전류 특성곡선은 그림 1과 같이 나타난다. 그에 따라 식 (1)과 같은 전압전류 특성방정식으로 표현 가능하다[5-6].

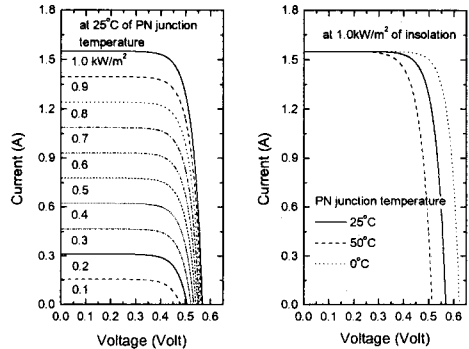


그림 1 태양전지의 전압-전류 특성곡선

$$I = s \cdot \{I_{sc} - I_{os} [\exp(KK \cdot V) - 1]\} \tag{1}$$

$$KK = \frac{q}{nk(273.16 + T)} \tag{2}$$

$$I_{os} = AT' \exp\left[\frac{qE_g}{k(273.16 + T)}\right] \tag{3}$$

I = current flowing into load [A]
 Isc = short-circuit current [A]
 Ios = saturation current [A]

s = insolation [kW/m^2]
 q = electron charge [C]
 k = Boltzman constant [J/K]
 T = PV junction temperature [°C]
 n = cell series
 A = temperature constant
 γ = temperature dependency
 E_g = energy gap [eV]
 V = across voltage of PV cell [V]

식(1)을 실제와 매우 근접하게 만들기 위해 36개의 직렬 셀을 조합한 태양광 패널의 실험데이터를 이용한 식 (1)~(3)에 대한 상수 값을 표1에서 보여준다. 표1은 실험으로 얻어진 태양광 셀의 상수 값이다.

표 1 실험으로 얻어진 태양광 셀의 상수값

n	1.5	γ	3	A	$6.0e-2$	E_g	1.103eV
Rs	0.031 Ω		Rsh		40 Ω		
Voc at 25°C	0.57 Volt		Isc at 1.0kW/m ²		1.55 A		

그림 2는 태양광셀의 시뮬레이션 개념도이다. 여기에 서 E_d 는 이상적인 터미널 전압, I_d 는 이상적인 출력전류, k_1 은 전압밸런스, R은 부하이다.

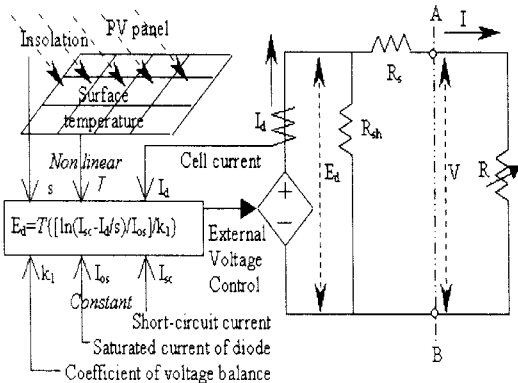


그림 2 태양광 셀의 시뮬레이션 개념도

2.2 RTDS로의 실제 기후조건 연계

전력 시스템용 과도현상 디지털 시뮬레이션 도구를 이용한 태양광 발전시스템의 시뮬레이션의 경우는 실제의 기상 조건을 모의한다는 것은 매우 어렵다. 그로 인해 기상조건 등의 외부 파라미터가 필요한 시뮬레이션의 경우는 그 결과의 신뢰성은 비교적 낮다고 할 수 있다. 그러나 실제 기상 조건을 이용한 태양광 발전시스템의 시뮬레이션은 일사량계와 온도계를 RTDS의 아날로그 입력으로 연계하여 사용하면 된다. 따라서 측정되어진 일사량과 표면온도의 아날로그 신호를 RTDS의 아날로그 입력으로 연계한 것이 시뮬레이션을 가능하게 하였다. 그림 3은 측정된 아날로그신호와 RTDS의 아날로그 입력의 연계를 보여주고 있다.

RTDS 입력은 실제 기상조건이고 그림 3에 그림 2에서의 시뮬레이션 회로가 재구성되어 모의 실험에 의한 태양광셀의 VI특성방정식이 얻어졌다.

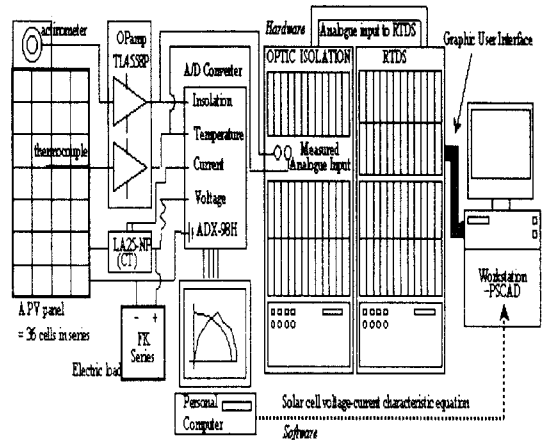


그림 3 측정된 아날로그신호와 RTDS 아날로그입력의 연계

2.3 일사량 데이터의 변환

태양광 발전시스템에서 계측용으로 사용되는 일사량계는 고유의 응답출력특성을 갖게되며, 고유의 응답 출력특성은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$RI(s) \frac{G}{1+sT} = MI(s) \quad (4)$$

여기서, $RI(s)$ 는 실질적인 일사량 데이터, $G/1+sT$ 는 사용된 일사량계의 응답특성($G=1, T=5.67$), 그리고 $MI(s)$ 는 측정된 일사량 데이터이다. 식 (4)을 이용하여 측정된 일사량 데이터 $MI(s)$ 로부터 실질적인 일사량의 데이터를 쉽게 구할 수 있다.

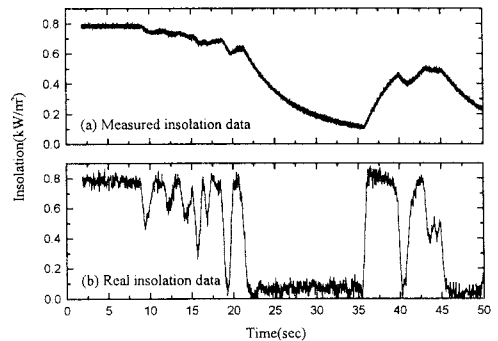


그림 4 일사량 데이터의 변환

2.4 태양광 패널에 저항부하연결

표 2에 표현된 태양광 패널은 모의 태양광시스템이 실시간 태양광 시스템처럼 동작하는가를 확인하기 위해 시뮬레이션되었다.

표 2 태양광 패널의 규모

A panel = 36 cells in series	$V_{oc-panel}$	20.5 Volt	$I_{sc-panel}$	1.55 A
Fill factor = 78 %	Type	Si	P max	25 W

그림 5는 제안된 모의 태양광 시스템이 전압원에서 시작하여 태양광 패널로의 바꿈을 보여준다. 그림 5는 실시간 시뮬레이션의 순서도이다. 그리고 시뮬레이션은 35Ω 이 연결되었을 때이다.

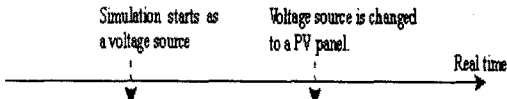


그림 5 제안된 시뮬레이터의 실시간 순서도

그림 6은 실시간 시뮬레이터에 35Ω 부하를 연결해 시뮬레이션한 실제 기상조건과 출력 전압, 전류를 보여준다.

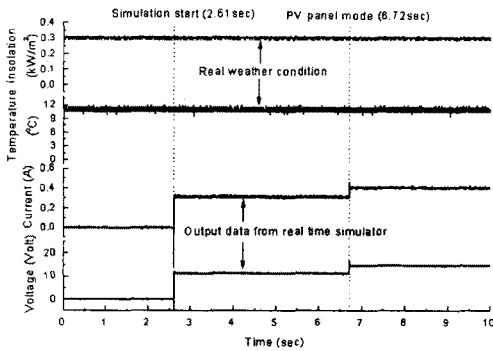


그림 6 35Ω 부하에 대한 시뮬레이터의 실제 기상조건, 출력전압, 전류데이터

그림 6에서 보여주는 시뮬레이션을 시작시 출력전압과 전류 곡선은 각각 11.2V와 0.3A이고 태양광 패널모드로의 바뀐후의 출력 전압과 전류는 실제 기상조건하에서 전압전류 특성에 의해 상승한다.

그림 7은 실제 기상조건에서의 전압-전류특성곡선에 의한 실시간 시뮬레이터의 출력을 보여주며 출력 전압과 전류는 태양광 패널모드에서 전압-전류 특성에 의해 동작되는 것을 입증한다

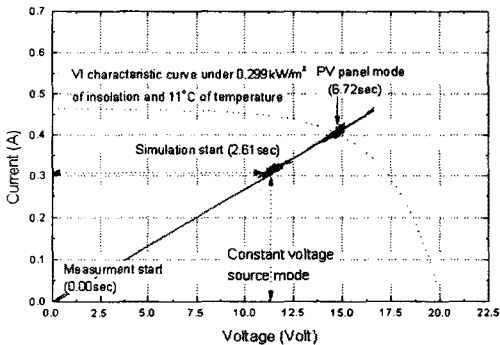


그림 7 35Ω 부하에 대한 실제 기상 조건에서의 실시간 시뮬레이터의 출력데이터

2.5 DC-DC 컨버터를 이용한 태양광 발전시스템
컨버터 시스템으로 기준전압에 대해 태양광 패널의 출력전압을 조정하고자할 때 태양광 패널의 출력특성을 확실하게 하기위한 것을 그림 8에서 보여준다.

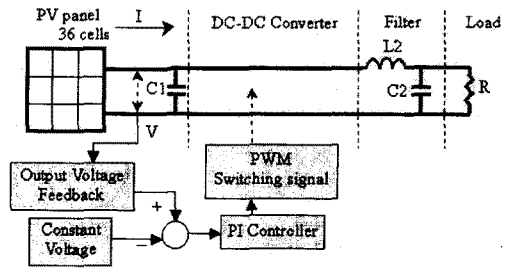


그림 8 DC-DC 컨버터를 이용한 태양광발전시스템의 개념도

DC-DC 컨버터를 이용한 태양광발전시스템은 제안된 모의 시뮬레이션시스템에 구성되어 있으며 DC-DC 컨버터는 출력 태양광 패널 전압의 일정전압제어로 동작한다[7-8]. 표 3은 전류 파라미터와 제어 조건을 표현했다.

표 3 전류 파라미터와 제어 조건

PWM switching frequency		10kHz	
Control of the output voltage of PV array		15 Volts constant	
C1	7mF	C2	700μF
L1	0.01mH	L2	0.01mH
R	100Ω	D	Diode

DC-DC 컨버터가 제안되어진 실시간 시뮬레이터에 적용될 때 안정한 동작의 확인하기 위해 DC-DC 컨버터를 이용한 모의 태양광발전시스템의 출력을 그림 9에 연속적으로 보여준다. 전압원 시뮬레이션 시작 후 전압원에서 태양광 패널로 바뀌고 다음은 DC-DC 컨버터가 PWM 모드로 동작하며 효율은 50%이다. 마지막으로 DC-DC 컨버터는 태양광 패널 15V의 출력전압을 유지하기 위해 일정전압제어로 동작한다.

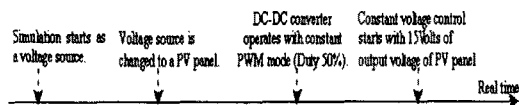


그림 9 DC-DC 컨버터를 이용한 제안된 방법의 실시간 시뮬레이션 순서도

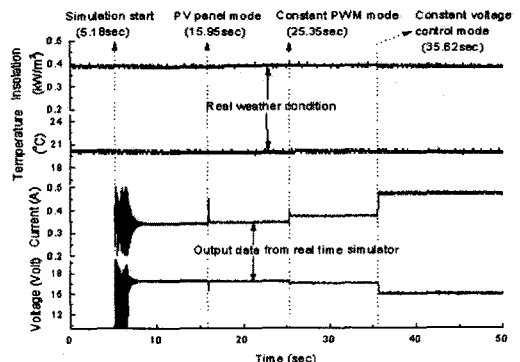


그림 10 실시간 시뮬레이터에 DC-DC 컨버터의 실제 기상조건과 입력 전압 및 전류

그림 10은 시뮬레이션 주기동안의 실제 기상조건과 DC-DC 컨버터의 입력전압과 전류를 보여준다.

3. 결 론

본 논문에서는 처음으로 실제 기상조건을 이용한 태양 광발전시스템의 새로운 실시간 시뮬레이션법을 제안하였으며 여러 가지 사례검토를 통해 본 방법의 유용성 및 정확성을 입증하였다.

구성;

- 1) 새롭고 유일한 태양광 셀 모델은 실험으로부터 얻어 지는 VI 특성방정식을 이용한 구조이다.
- 2) 태양광발전시스템의 실시간 시뮬레이션을 가능하게 하기 위해서는 RTDS의 그래픽 인터페이스 툴을 가지고 적용되어 동작한다.
- 3) 실제 기상조건을 실제와 유사하게 만들기 위해 RTDS의 아날로그 입력에 연결했다.

분석결과;

- 1) 모의 태양광 패널에 저항부하를 연결한 실험은 출력 전압과 전류곡선이 실제 기상조건에서의 VI 특성곡선과 일치하였다. 따라서 모의된 태양광 패널의 실시간 동작은 태양광 셀이 VI 특성을 유지하는 것을 입증했다.
- 2) 제안된 실시간 시뮬레이션법의 이용을 확실히 하기 위해 모의 태양광 패널은 DC-DC 컨버터에 연결되어 일정전압제어에 의해 컨버터의 입력전압이 유지되었고 제안된 실시간 시뮬레이터는 만족스러운 결과를 보여주었다.

시뮬레이션 결과는 제안된 RTDS를 기초로 한 시뮬레이션 설계가 효과적임을 증명하였다. 같은 기상조건하에서 효율과 실용성에 대한 비용효과를 입증하고 단독 태양광발전시스템의 안정성과 MPPT 제어는 물론 기타 다양한 제어방식에 대한 비교연구도 가능하다는 것을 보여주었다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여
기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] R. Messenger, j. Ventre, "photovoltaic System Engineering", CRC Press, 2000
- [2] H.W. Dommel "EMTP Theory Book", B.P.A., 1986
- [3] "PSCAD/EMTDC Power System simulation Software Manual", Manitoba HVDC Research Centre, 1995
- [4] "RTDS Manual", Manitoba HVDC Research Centre, 1995
- [5] Richard C. Neville, "Solar Energy Conversion: The Solar Cell", Elsevier Scientific Publishing Company, 1980
- [6] Martin A.Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Applications", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1982
- [7] J.Chou, Y.Makino, Y.Hukuda, A.Danaka, E.Taniguchi, "A Study on the Constant Voltage Control of Photo-voltaic Generation", 1993 National Convention Record IEEJ, 1993
- [8] M. J. Case, J. J. Schoeman, "A minimum component photovoltaic array maximum power point tracker", Vector on Automation Products and systems, 1999