

EMTP형 시뮬레이터를 이용한 태양광발전시스템 모의방법

論 文

54B-6-6

Simulation Method of Photovoltaic Generation Systems using EMTP Type Simulators

朴敏遠*·劉仁根*

(Minwon Park · In-Keun Yu)

Abstract - As the cost of photovoltaic(PV) generation systems continues to decrease, utility interactive systems are becoming more economically viable. Furthermore, increases in consumer awareness correspond to a willingness to pay a premium price for clean electrical energy generated using renewable energy resources. Especially, PV generation systems, in particular, is undergoing a rapid expansion-showing an industrial growth of approximately 40% per year in the worldwide, as PV cell and systems technology improve new markets become increasingly accessible. This has resulted in an increased demand for the simulation scheme and operational technologies of utility interactive PV devices and systems. The simulation schemes that can be applied to the utility interactive PV generation systems readily and cheaply under various conditions considering the sort of solar cell, the capacity of systems and the converter system as well are strongly expected and emphasized among researchers. So far, authors have been introducing the simulation method of PV generation systems with several papers. In this paper, authors introduce the simulation way of PV generation systems using EMTP type simulators; EMTP/ATP, EMTDC/PSCAD, RTDS, with each examples. And, by connecting the voltage amplifier to the RTDS a novel simulation method which is extremely close to the real condition of PV generation system is also introduced.

Key Words : 태양광발전, 시뮬레이션, EMTP, EMTDC, RTDS

1. 서 론

지구온난화 및 화석연료의 고갈 등으로 인해 최근 대체 에너지의 공급확대가 에너지 산업부분에서 중요한 테마로 대두되고 있다. 근년 주목을 모으고 있는 대체에너지로서는 태양광, 풍력, 그리고 수소에너지로 대표할 수 있는데, 이 중 태양광 발전시스템은 운전유지가 간단(Maintenance Free)하고 수요지 근접성(User Accessibility)이 풍력에 비해 매우 우수한 특징 등으로 인해 오래전부터 많은 연구자들의 테마로서 자리를 잡았으며, 주택용 태양광발전시스템의 경우는 일본에서 높은 상용화 비율을 점유하고 있다. 이에 반해, 대규모 단지에서의 집단적 전압상승 방지기술, 계통고장시의 단독운전 방지기술, 보다 높은 효율과 안정성을 갖춘 최대 전력점 추종제어(MPPT; Maximum Power Point Tracking Control)기술, 그리고 부분 음영에서의 운전기법 등 추가적으로 연구개발이 필요한 분야도 지금까지 개발되어온 태양광발전시스템의 연구결과 만큼이나 많이 잔존하고 있는 것이 사실이며, 상기 연구내용을 보다 경제적이면서도 짧은 연구기간 내에 수행할 수 있는 방법이 태양광발전시스템의 모의 기능이 포함된 전력시스템 시뮬레이션 해석기법이다.

전력시스템에 관한 연구개발의 일반적인 프로세스는 먼저 아이디어를 착안하고, 착안된 아이디어를 검증하기 위해 시뮬레이션 해석을 실시하고, 실제 시스템 제작을 통해 최종 검증을 거치게 된다. 이에 중요한 연구개발 단계 중의 하나가 시뮬레이션 해석 단계인데, 고가의 비용이 소요되는 실제 시스템 제작 검증을 보다 저렴하면서도 해석기간을 결정적으로 단축할 수 있는 단계이다. 널리 사용되고 있는 전력시스템 시뮬레이션 소프트웨어로는 EMTP형 시뮬레이터(EMTP/ATP [1], EMTDC [2] 및 RTDS [3])를 언급할 수 있다. 그런데, EMTP형 시뮬레이터뿐만 아니라, 모든 전력시스템 해석 시뮬레이션 도구는 어느 특정 용량한계를 지정할 수 있는 정 전압원과 정 전류원 만을 전원으로 제공하고 있다. 태양광발전시스템의 태양광전원은 일사량과 태양전지의 표면온도에 의해 출력전압과 전류가 변화하는 비교적 복잡한 전압전류특성을 가지고 있는 전원이기 때문에 기존 시뮬레이션에서 제공되는 컴포넌트만으로는 태양전지의 표현이 불가능하다. 이에 저자 등은 시뮬레이션 도구에 태양전지의 전압전류특성방정식을 가지는 전원을 추가하여 실제 태양전지와 동일한 출력특성을 가지는 시뮬레이션 해석 방법을 여러 논문들[4-7]을 통해서 제시하였다. 본 논문에서는 제안된 시뮬레이션 원리를 전력시스템 과도해석에 가장 전문화된 EMTP형 시뮬레이션을 도구별로 해석하는 방법들을 나누어서 소개하고 실제 기상조건을 시뮬레이션 도구에 입력하는 방법과 함께 RTDS에 앰프를 연결하여 태양광전원과 물리적으로 동일한 출력특성을 가지는 모의 전원제작방법을 제안하였다.

* 교신저자, 正 會 員 : 昌原大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : yuik@sarim.changwon.ac.kr

* 正 會 員 : 昌原大 工大 電氣工學科 專任講師 · 工博
接受日字 : 2005年 3月 8日
最終完了 : 2005年 5月 14日

2. 태양전지의 특성 및 시뮬레이션 구현원리

2.1 태양전지의 전압전류 특성

전압원과 전류원으로 구분되는 일반적인 전원과 달리 태양전지는 그림 1에서와 같이 출력단자에 연결된 부하의 크기에 따라 전류 값이 0[A]인 개방전압과 전압의 값이 0[Volt]인 단락전류사이에서 전압과 전류가 변화하는 특이한 특성을 가지는 전원이다. 단락전류의 값은 태양전지에 비추는 일사량의 값과 정비례하는 관계에 있기 때문에 일사량에 비례하는 전류원으로 나타낼 수 있다. 그러나 태양전지의 표면온도에 개방전압이 많이 영향을 받는 관계로 태양전지의 출력특성은 일사량, 태양전지의 표면온도, 그리고 출력단자에 연결된 부하의 조건에 따라 변하는 전원으로 표현되어야 정확한 모의가 가능해진다..

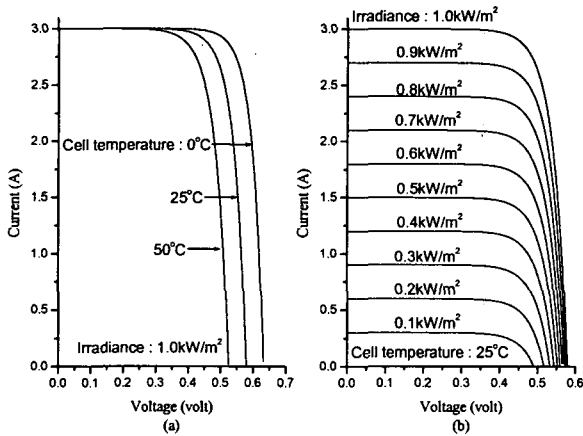


그림 1 태양전지의 전압전류 특성 (a) 표면온도영향, (b) 일사량영향

Fig. 1 V-I characteristics of solar cell (a) Influence of cell temperature, (b) Influence of irradiance

그림 1의 특성을 식으로 표현[8]된 것이 식 (1)과 (2)이다.

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

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

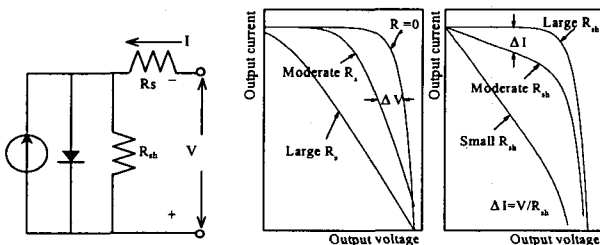


그림 2 내부기생저항을 고려했을 때의 태양전지 회로도 및 그에 따른 출력변화

Fig. 2 Equivalent circuit of a solar cell and effect of parasitic resistances on the output

식 (1)과 (2)를 통해서 태양전지의 전압전류 특성을 확인할 수 있으나, 실제 태양전지는 제조상에서 생기는 내부기생저항으로 인해 그림 2와 같이 출력 전압과 전류에 영향을 미치게 되며 전체적인 출력 효율을 저하시키는 영향을 주게 된다. 내부기생저항의 영향을 포함한 태양전지의 전압전류 특성방정식은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$I = I_{sc} - I_{os} \left\{ \exp \left[\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T} \right] - 1 \right\} - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

2.2 시뮬레이션 틀에서의 태양전지 구현 원리

태양전지를 시뮬레이션 도구에서 구현하기 위해서는 두 가지의 기본원리를 이용하는 것이 우선시 되어야한다. 첫째, 식 (1)을 통해서 확인되는 것으로 태양전지는 전압에 의한 전류의 식으로 표현할 수도 있고, 전류에 의한 전압의 식으로도 표현할 수 있다는 것이다. 이는 시뮬레이션 도구에서 전압원을 사용하면 전압원의 출력전류를 피드백 하여 식 (1)을 통해서 전압 값을 계산하고 이를 다시 전압원의 크기로 입력하면 된다는 것을 의미한다. 둘째, 시뮬레이션 도구는 모두 샘플링타임을 가지고 있다는 것이다. 이는 각 노드의 계산 값이 샘플링 타임을 간격으로 재설정된다는 것으로 전압(전류)원의 출력 전류(전압)를 피드백 하여 특정 방정식을 통해 전압(전류)원의 지령전압(전류)을 계산하여 전압(전류)원에 입력하게 되면 전류와 전압 값은 하나의 샘플링 타임 간격으로 오차를 나타내게 된다. 그림 3은 설명내용을 그림으로 도식화한 것이다.

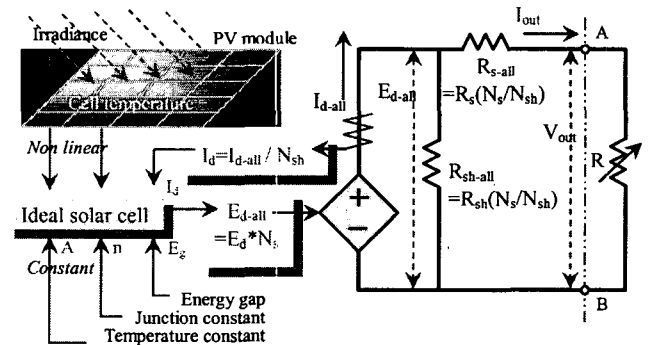


그림 3 EMTF형 시뮬레이터에서의 태양광모듈 개념도
Fig. 3 Conceptual diagram of the PV module in EMTF type simulators

그림 3은 전압원을 사용하였을 때를 가정하여 태양전지 구현원리를 설명한 것으로 외부 부하조건에 의해서 결정되는 출력전류 값을 피드백 하여 식 (1)에 대입시키고 일사량과 태양전지 표면온도를 입력시켜 최종적으로 출력전압 값을 결정하게 되며, 이를 다시 전압원의 출력전압 값으로 지정하게 된다. 전압원의 출력부분에 내부기생저항을 태양전지의 직병렬 개수에 맞게 계산하여 그림 3과 같이 접속하면 태양전지의 모의가 가능하게 된다. 이 때 시뮬레이션에서 사용하게 되는 출력단자는 그림 3의 A와 B이고, 이때의 출력은 식 (3)과 같이 나타난다.

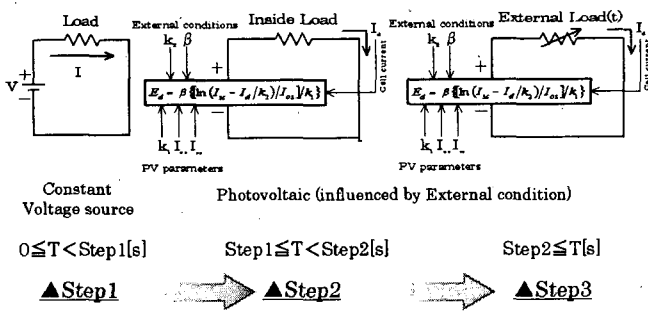


그림 4 태양전지구현까지의 3단계
Fig. 4 3 steps for the actualization of solar cell in simulation

그림 4는 시뮬레이션 상에서 동작하게 되는 태양광 전원의 동작 흐름도이다. Step 1은 시뮬레이션 시작과 동시에 정 전압에 연결되어 있는 출력단의 부하특성에 따라 전류가 흐르게 되고, Step 2는 피드백 받은 전류와 태양광 셀의 특성방정식을 통해서 계산된 전압원의 출력전압 값을 결정하는 단계이다. 마지막으로 Step 3에서는 태양광 셀의 특성방정식으로 계산된 출력전압과 부하조건을 통해서 재결정된 출력전류 값을 피드백 하는 단계이며, 이후부터 실질적인 태양광전원과 동일한 특성을 가지게 된다.

3. 시뮬레이션 틀에서의 구현방법

3.1 EMTP/ATP를 이용한 시뮬레이션 구현

2장에서 설명된 구현원리를 EMTP형 시뮬레이션 도구 중에서 가장 보편적으로 널리 사용되고 있는 EMTP/ATP를 통해서 구현하기 위해서는 식 (1)을 연산 컴포넌트를 조합하여 완성할 수도 있으나, EMTP/ATP의 기능으로 들어있는 내부 연산 식을 가지는 새로운 컴포넌트를 제작하는 것이 보다 편리하다. 그림 5는 그림 3의 태양광모델 개념을 EMTP/ATP Draw를 통해서 실현시킨 태양광 전원의 모델 컴포넌트이다.

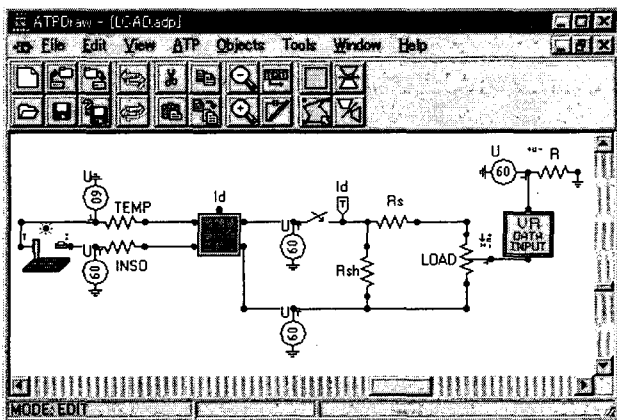


그림 5 EMTP/ATP Draw에서 구현된 태양광전원 모델 컴포넌트
Fig. 5 Model component of photovoltaic source implemented in EMTP/ATP Draw

그림 5에서 표현된 태양광전원 모델 컴포넌트는 실제 기상조건을 데이터로 입력하여 컴퓨터의 특정 디렉터리에 저장만 해 놓게 되면, EMTP/ATP를 실행하면서 저장된 실제 기상데이터를 시뮬레이션의 실제 입력 값으로 활용가능하게 되어 있다. 파일명과 파일에 저장된 데이터의 샘플링 타임만 입력하게 되면 실제 기상조건을 시뮬레이션에 활용할 수 있게 되는 것이다.

시뮬레이션 방법의 우수성을 확인하기 위해 실제 태양광 패널에 전자부하장치를 연결하여 그림 6의 (a)와 같이 무한대 저항에서 0[Ω]까지 변화시키고 그 때의 저항 변화 특성과 그림 7의 (b)에서 나타난 기상조건을 데이터화하여 EMTP/ATP를 동작시켰다. 이 때 사용된 파라미터의 값은 문헌[15]를 통해 확보된 값을 활용하였다.

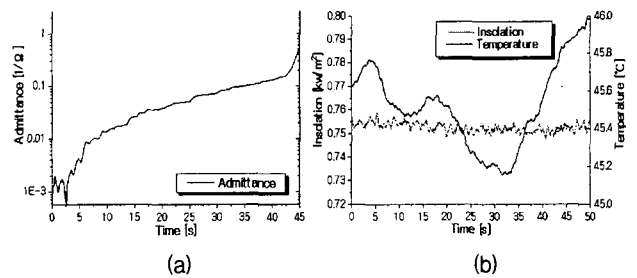


그림 6 (a) 부하 어드미턴스, (b) 기상조건
Fig. 6 (a) Load admittance, (b) Real weather condition

그림 7은 전자부하장치의 부하변화에 의한 실제 태양광전원의 출력전압/전류 특성과 제안된 시뮬레이션 법을 통해 EMTP/ATP에서 얻어진 결과를 비교한 그림이다. 그림 7에서와 같이 시뮬레이션에 의한 결과와 실제 시스템을 통해서 얻어진 결과가 대부분의 영역에서 동일한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

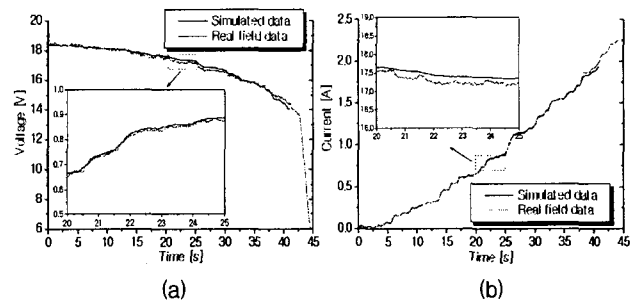


그림 7 출력값 비교 (a) 전압, (b) 전류
Fig. 7 Comparison of output data (a) Voltage, (b) Current

3.2 EMTDC/PSCAD를 이용한 시뮬레이션 구현

EMTDC/PSCAD는 최근 전력시스템 연구그룹 사이에서 급속도로 확산되고 있는 전력시스템 시뮬레이션 소프트웨어이다. 기본적인 동작원리는 EMTP/ATP와도 거의 흡사하나, 보다 사용자 편리성이 우수한 프로그램이다.

그림 8은 EMTDC/PSCAD를 통해서 새롭게 개발된 태양광전원 컴포넌트이다. 컴포넌트의 동작은 EMTP/ATP에서

와 동일하며, 실제 기상조건을 입력하는 방식도 실 기상 데이터를 EMTDC가 구동되는 동일한 컴퓨터에 저장해 놓으면, 저장된 장소를 PSCAD상에서 지정하고 데이터 샘플링 타임을 지정해 주면 실제 데이터를 이용한 태양광전원의 모의가 가능하게 되어 있다

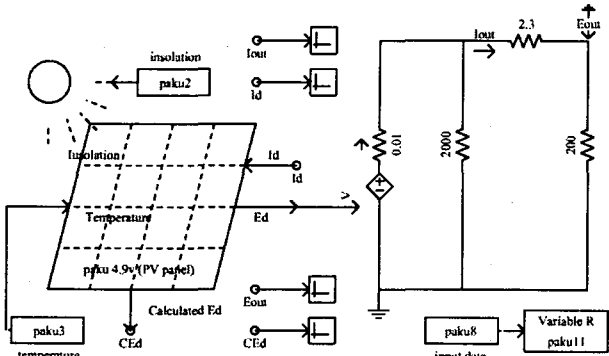


그림 8 EMTDC/PSCAD에서 구현된 태양광전원 모델 컴포넌트
 Fig. 8 Model component of photovoltaic source implemented in EMTDC/PSCAD

EMTDC/PSCAD를 통해 개발된 태양광전원 모델 컴포넌트의 활용성을 확인하기 위해 태양광발전시스템 연구에는 필수적인 MPPT제어 모의실험을 실시하였다. 이는 기존 실제 시스템에서는 불가능한 동일한 기상조건과 부하조건에서 각기 다른 MPPT제어를 실시하였을 때의 특성비교가 가능한지 등의 활용성을 확인하기 위해서이다.

그림 9는 시뮬레이션에 이용된 50초간의 실제 기상조건이며, 비교를 위해 사용된 MPPT제어는 출력전력의 증감을 기준으로 태양전지 출력전압의 크기를 제어하는 가장보편적인 전력비교법[9-12], 시스템의 안정된 동작을 위해 태양전지의 출력전압을 항상 일정하게 제어하는 일정전압법, 태양전지의 표면온도로 최적전압을 계산하여 제어하는 기준전압법[13-14]과 같이 3가지 MPPT제어법을 비교하였다.

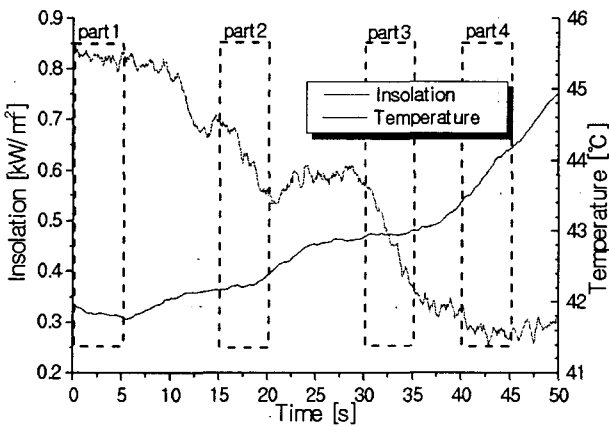


그림 9 시뮬레이션에 사용된 실제 기상조건 (일사량, 태양전지의 표면온도)
 Fig. 9 Real weather conditions used in simulation analysis (insolation and surface temperature of solar cell)

그림 10과 11은 그림 9에서 일사량의 급변이 발생하는 지점(part2)의 출력전압과 출력전력 값의 과도현상을 비교한 그림이다. 그림 10에서와 같이 전력비교법은 일사량의 급변에 따라 태양전지의 출력전압 값이 급격하게 출력입을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. 동일한 기상조건에서 일정전압법과 기준전압법은 비교적 일사량의 급변에도 전압의 변동이 나타나지 않음을 확인할 수 있다. 또한 그림 11에서와 같이 출력전력 값 비교에서는 전력비교법과 기준전압법이 최대출력점을 추종하는 반면, 일정전압법은 최대출력점을 추종하지 못하는 단점을 확인할 수 있다.

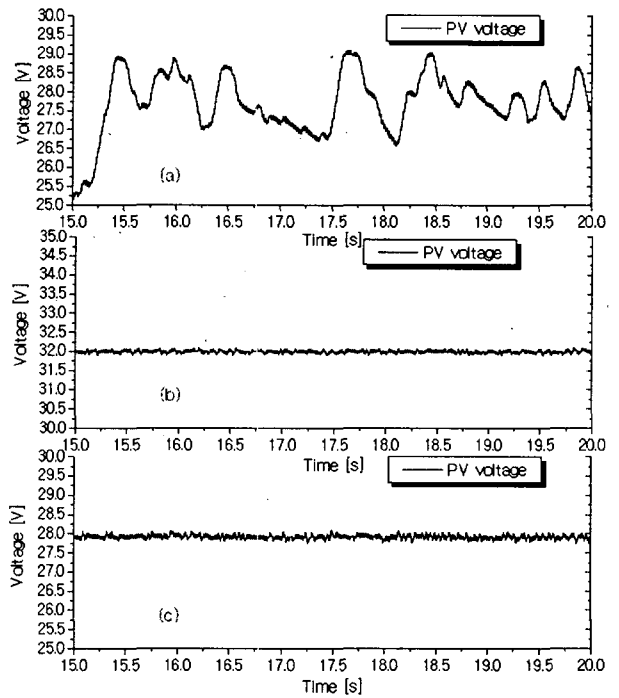


그림 10 MPPT법에 따른 출력전압 비교, (a) 전력비교법, (b) 일정전압법, (c) 기준전압법

Fig. 10 Comparison of the output voltage according to MPPT, (a) power comparison control, (b) constant voltage control, (c) reference voltage control

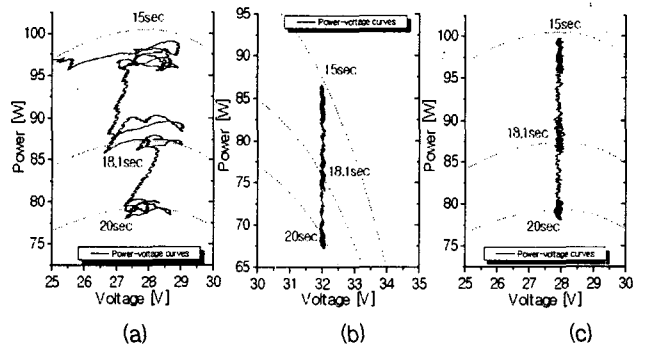


그림 11 MPPT법에 따른 출력전력 비교, (a) 전력비교법, (b) 일정전압법, (c) 기준전압법

Fig. 11 Comparison of the output power according to MPPT, (a) power comparison control, (b) constant voltage control, (c) reference voltage control

3.3 RTDS를 이용한 시뮬레이션 구현

RTDS는 Real Time Digital Simulator의 약자로서 EMTP형 시뮬레이터 중, 유일하게 실시간(Real Time) 시뮬레이션이 가능한 시뮬레이터이다. 태양전지의 시뮬레이션 구현 방식은 EMTP/ATP, EMTDC/PSCAD와 동일하며 사용하는 RTDS의 계산용량에 따라 실시간 출력 값의 샘플링 시간이 한정될 수밖에 없다. RTDS 시스템 적용 개념은 논문[7]에서 소개되었고, 그림 12는 측정된 실제 기상 신호를 OIC(Optical Isolation Card)를 통해 RTDS로 입력되고 그 값이 태양광전원의 입력데이터로 사용되는 신호흐름을 나타낸 그림이다.

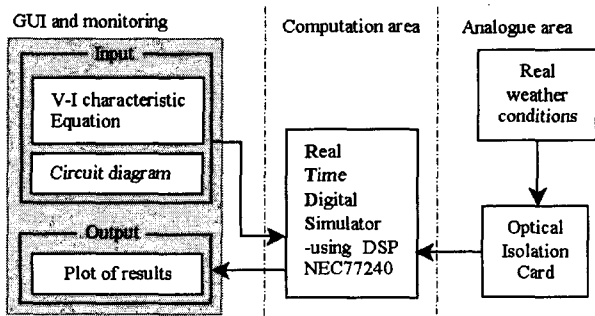


그림 12 기상데이터의 실시간 RTDS 신호입력 흐름도
 Fig. 12 Process of the measured analogue real weather signal and the analogue input of the RTDS

RTDS를 이용한 시뮬레이션 기법의 유용성을 확인하기 위해 RTDS내의 GUI(Graphic User Interface)를 통해 동일한 방법으로 구현된 태양광전원의 출력부에 DC/DC converter와 정저항 부하를 모의하고 그림 13과 같은 단계별 시뮬레이션 순서를 통해 시뮬레이션을 실시한 결과, EMTP/ATP 및 EMTDC/PSCAD와 동일한 특성을 확인할 수 있었다. 그림 14는 시뮬레이션 단계변화에 따라 모의된 태양광전원의 출력전압 및 전류가 전압전류특성곡선위에 위치함을 확인할 수 있는 그림이다. PV panel mode가 시작됨과 동시에 특성곡선위에 출력특성이 위치하게 되고, 각종 제어기를 통한 출력전압 값 변화에도 항상 특성곡선 상에 전압전류 값이 위치함을 나타낸다. 이 때, 모든 출력 값은 실시간 값으로 출력된다.

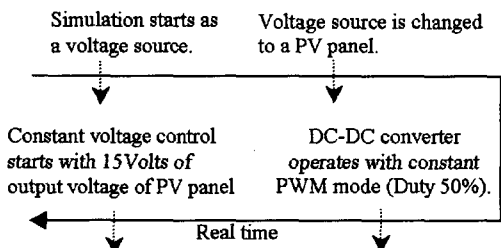


그림 13 RTDS에서의 DC/DC converter를 이용한 태양광 발전시스템 시뮬레이션 흐름도
 Fig. 13 Simulation process of the PV generation system with DC/DC converter using RTDS

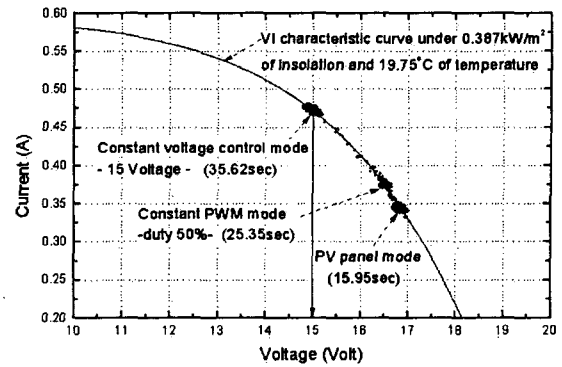


그림 14 그림 13의 흐름도에 따른 RTDS의 출력전압 및 출력전류 값 변화
 Fig. 14 Change of the output voltage and current of RTDS according to Fig. 13

RTDS를 이용한 시뮬레이션의 결과 값은 실시간으로 출력되기 때문에 그림 15와 같이 출력부분에 전압앰프 또는 전류앰프를 연결시키면 실제 태양광전원과 물리적으로 동일한 전압전류 특성을 가지는 전원을 모의할 수 있다. 그림 15에서 기상조건 변화에 따른 출력변화는 그림 14에서 설명된 내용과 동일하며, 그 출력의 범위는 RTDS의 PSCAD상에서 임의로 조절할 수 있다. 또한, 이 때 태양광전원의 용량한계는 앰프의 용량과 일치하게 된다. 그림 16은 개방전압 20[Volt], 단락전류 3[A]를 가지는 태양광 패널을 모의했을 때, 그림 15의 A-B를 전압, 전류를 측정할 수 있다. 약간의 노이즈 성분을 제외하고는 물리적으로 동일한 출력특성을 확인할 수 있다.

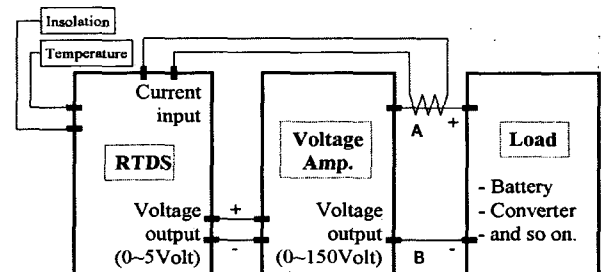


그림 15 RTDS에 전압앰프를 이용한 태양광전원 모의
 Fig. 15 Conceptual diagram of the photovoltaic source in RTDS using a voltage amp.

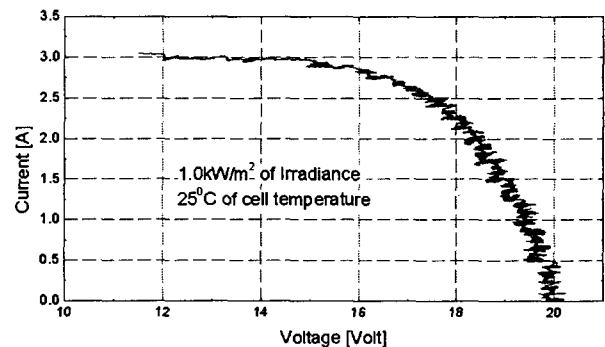


그림 16 그림 15를 이용한 45[W]급 태양광 패널 모의 결과
 Fig. 16 Result of 45[W] class PV panel using Fig. 15 method

4. 결 론

본 논문에서는 EMTP형 시뮬레이터 (EMTP/ATP, EMTDC/PSCAD, RTDS)를 이용한 태양광 전원 모의 방법을 소개하였고, 모든 EMTP형 시뮬레이터는 동일한 시뮬레이션방법으로 태양광 전원의 모의실험이 가능하게 됨을 본 논문을 통해서 확인하였다. 또한 소개된 시뮬레이션방법은 실제기상조건을 그대로 적용하는 방법으로 실제 시스템에 상당히 근접한 시뮬레이션방법이며, 3.3에서 소개된 RTDS에 전력앰프를 연결한 시뮬레이션방법은 실제시스템과 물리적으로도 동일한 특성을 나타내는 시뮬레이션방법임이 증명되었다. 본 시뮬레이션방법을 활용하면, 새로운 MPPT법 개발, 기상조건 급변 등에 따른 태양광발전 시스템 과도현상 연구, 계통연계운전기법 연구, 단독운전 방지기법 연구, 부분 음영하에서의 운전기법연구 등의 다양한 태양광발전시스템 관련연구들이 보다 경제적이고 쉬운 방법으로 실현 가능하게 된다. 태양광발전시스템 연구자들이 본 논문에서 소개된 EMTP형 시뮬레이션기법들을 보다 많이 폭 넓게 활용하게 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)의 일부지원과, 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(02340-17, R2003-B-342)주관으로 수행된 것임.

참 고 문 헌

[1] H.W. Dommel [EMTP Theory Book], B.P.A., 1986
 [2] [PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software Manual] Monitoba HVDC Research Centre, 1995
 [3] [RTDS Manual] Monitoba HVDC Research Centre, 1995
 [4] Minwon Park, Kenji Matsuura, Masakazu Michihira, "A Novel Simulation Method of PV cell using Field Data", Trans on IEE Japan, Vol. 121-B, No.2, pp.262-263, 2001
 [5] Minwon Park, Kenji Matsuura, Hiroshi Yamashita, Masakazu Michihira, "A Novel Simulation Method for PV Power Generation System using Real Field Weather Condition and its Application", Trans on IEE Japan, Vol. 121-B, No.11, pp.1499-1506, 2001
 [6] Minwon Park, Bong-Tae Kim, In-Keun Yu, "A novel simulation scheme for grid connected photovoltaic generation systems", KIEE International Trans. on EMECS, Vol. 11B-4, pp.169-174, 2001
 [7] 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
 [8] Martin A. Green, "Solar Cells Operating Principles, Technology, and System Applications", 1982 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 0763
 [9] I.H.Altas, A.M.Sharaf, "A novel on-line MPP search algorithm for PV arrays", IEEE Transactions on

Energy Conversion, Vol.11, No.4, pp748-754, 1996
 [10]C.Hua, J.Lin, C.Shen, "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.45, No.1, pp99-107, 1998
 [11]A.F.Boehringer, "Self-Adapting dc Converter for Solar Spacecraft Power Supply", IEEE Transactions on Aerospace & Electron. System, AES-4, 102, 1968
 [12]T.Senju, K.Unezato, S.Okuma, "Maximum Power Point Tracking Control of Photovoltaic Array Using Fuzzy Control", T.IEE Japan, Vol. 114-D, No.9 pp.843-848, 1994
 [13]Takayoshi Asami, Minwon Park, Kenji Matsuura, Masakazu Michihira, "Optimization of Supply Power in Solar PV Power Generation System for Large Scale Hydrogen Production", Journal of Energy and Resource, Vol.23, pp.360-365, 2002
 [14] Minwon Park, In-Keun Yu, "A Study on the Optimal Voltage for MPPT obtained by only Surface's Temperature of Soalr Cell", KIEE International Trans. on EMECS, Vol. 3B-2, pp.103-110, 2003
 [15]Minwon Park, In-Keun Yu, "A Novel Simple Method to Abstract the Entire Parameters of the Solar Cell", KIEE International Trans. on EMECS, Vol. 4B-2, pp.86-91, 2004

저 자 소 개



박민원 (朴敏遠)

1970년 2월 12일생. 1995년 창원대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 일본 오사카 대학 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 2001년 10월~2004년 8월 한국전기연구원 차세대초전도응용기술개발사업단 기술팀장. 2004년 9월~현재 창원대학교 전기공학과 전임강사

Tel : 055-279-7519

E-mail : paku@sarim.changwon.ac.kr



유인근 (劉仁根)

1954년 2월 18일생. 1983년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년 6월~1988년 2월 한국전기연구원 선임연구원(지중송전연구실장). 1990년 12월~1992년 2월 University of Texas At Arlington(Post Doc.). 1996년 12월~1998년 2월 Brunel University, UK(Visiting Scholar). 1988년 3월~현재 창원대학교 전기공학과 교수

Tel : 055-279-7512

E-mail : yuik@sarim.changwon.ac.kr