

계통연계형 태양광발전시스템의 PSCAD/EMTDC 모델링 및 전력품질 평가

설재웅, 장재정, 김진오
한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

Power Quality Assessment and PSCAD/EMTDC Modeling of Grid-Connected PV System

Jae-Woong Seol, Jae-jung Jang, Jin-O Kim
Dept. of Electrical & Computer Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper presents the results of a grid-connected photovoltaic (PV) system modeling that contain incremental conductance MPPT(Maximum Power Point Tracking) controller by PSCAD/EMTDC simulator and investigates the influence that can occur in the grid-connected PV system from aspect of power quality, i.e. voltage drop, total harmonic distortion(THD) and total demand distortion(TDD). The measured data the PV array modeling of PSCAD/EMTDC in Cheongwadae, Seoul, Korea is used in the paper.

1. 서론

최근 급속한 경제발전과 국민생활 수준의 향상으로 현재 국내의 발전설비 용량과 최대전력수요는 높은 증가율을 보이고 있다. 이러한 전력수요 급증에 의하여 화석연료 의존도가 높은 우리나라의 경우 국제환경 규제에 의한 지구 온난화가스 배출량의 감축 및 동결은 곧바로 산업 활동의 위축을 가져오게 됨으로서, 환경을 국가의 산업생산 활동과 연계시키고자 하는 선진국과의 경쟁에서 많은 난관에 처하게 된다. 따라서 정부의 에너지위기 극복방안의 하나로 대체에너지 중 하나인 태양광 발전시스템이 있다. 정부는 총 소요금액의 70%까지 보조함으로써 2010년까지 3만호 정도의 주택용 태양광 발전시스템이 보급될 전망이다[3].

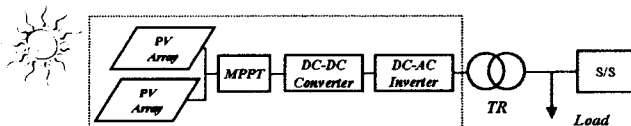
계통연계형 발전시스템은 인버터와 계통이 직접 연결되어 있기 때문에 인버터에서 발생하는 고조파가 직접 계통에 영향을 주게 되고 나아가서 이 계통과 연결된 다른 시스템에도 영향을 준다. 또한 계통연계시 전압불평형으로 전력품질에 영향을 미치고 있다.

본 논문에서는 앞으로 보급 잠재력이 큰 계통연계형 태양광 발전시스템을 PSCAD/EMTDC로 모델링하고, 이에 따라 발생하는 전압품질을 분석하고 평가한다. 사례연구는 청와대에 위치한 3 kW급 태양광 발전시스템 태양광 Array의 실제 Data를 사용하였으며, PV시스템은 증분 컨덕턴스 최대 출력점 추종 제어(IncCond MPPT)기법을 적용하여 모델링하였다.

2. 계통연계형 태양광발전시스템 모델링

태양전지는 외부 환경조건인 일사량, 셀(Cell)의 온도 그리고 부하 등에 따라 출력 I-V(전류-전압)특성곡선 및 P-V(전력-전압)특성곡선이 비선형적으로 변하는 특성을 갖는다. 또한 동일한 외부 환경조건이라도 I-V 특성곡선상의 전류, 전압 동작점에 따라 태양 전지의 출력차이가 발생한다.

본 논문에서는 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위해 P-V의 관계를 고려한 증분 컨덕턴스(IncCond MPPT) 제어기법을 적용하였으며, 그림 1과 같이 DC-DC 컨버터, DC-AC 인버터, 단상 절연변압기(TR)를 거쳐 계통으로 연결되는 계통연계형 태양광발전시스템을 구성하였다.



<그림 1> 계통연계형 태양광발전시스템의 기본구성

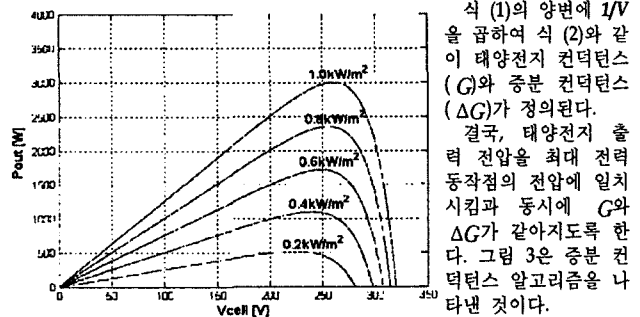
2.1 증분 컨덕턴스 최대 출력점 추종 제어(MPPT)

그림 2는 태양전지의 전압에 따라 발생하는 전력의 관계를 나타낸 P-V 특성곡선이다. 일사량에 따라 태양전지가 최대 출력을 발생시킬 때의 동작점을 최대 출력점(Maximum Power Operating Point : MPOP)이라 하며, 이 최대 출력점을 추종하기 위해 최대 출력점 추종제어(Maximum Power Point Tracking : MPPT)가 필요하다[1].

증분 컨덕턴스 기법은 태양전지의 컨덕턴스 및 컨덕턴스의 미분을 이용하여 최대 출력점을 판별하는 방법으로, 최대 출력점에 도달시 출력전력이 안정하며, 외부환경 급변 시 태양전지 출력전압이 항상 최대전력동작점 전압에 추종하도록 함으로써 최대전력추종제어에서 벗어나지 않는 장점이 있다. 증분 컨덕턴스 기법은 그림 2의 P-V특성 곡선으로부터 기울기는 식 (1)과 같이 결정된다.

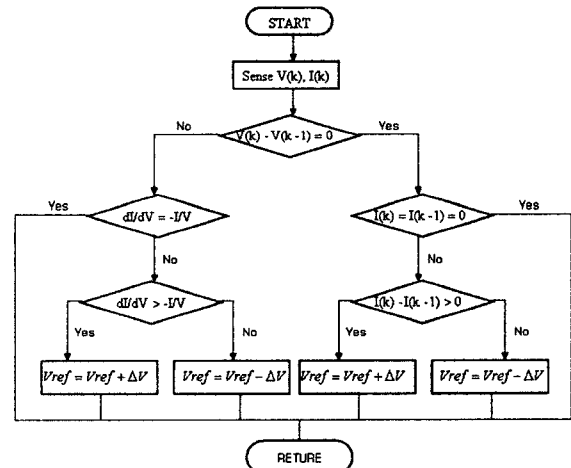
$$\frac{dP}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (1)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (\text{where, } G = I/V, \Delta G = dI/dV) \quad (2)$$



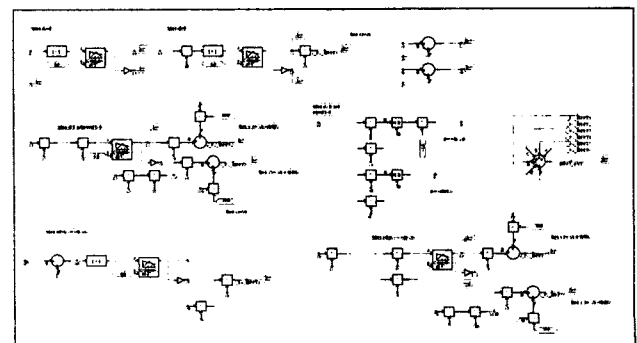
식 (1)의 양변에 1/V 을 곱하여 식 (2)와 같이 태양전지 컨덕턴스 (G)와 증분 컨덕턴스 (ΔG)가 정의된다. 결국, 태양전지 출력 전압을 최대 전력 동작점의 전압에 일치 시키고 동시에 G와 ΔG가 같아지도록 한다. 그림 3은 증분 컨덕턴스 알고리즘을 나타낸 것이다.

<그림 2> 태양광 전지의 전력-전압 특성곡선

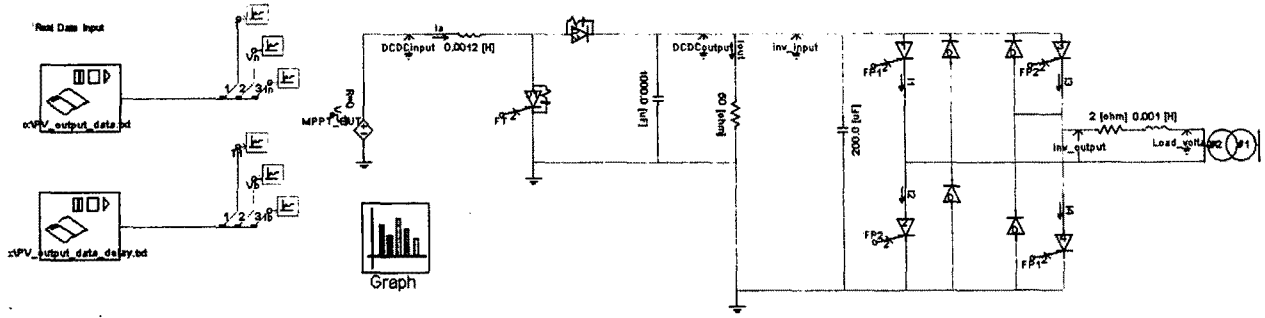


<그림 3> 증분 컨덕턴스 알고리즘

그림 4는 PSCAD/EMTDC로 증분 컨덕턴스 알고리즘을 구현한 설계화면이다.



<그림 4> 증분 컨덕턴스 알고리즘을 PSCAD/EMTDC로 구현



〈그림 5〉 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 된 계통연계형 태양광발전시스템

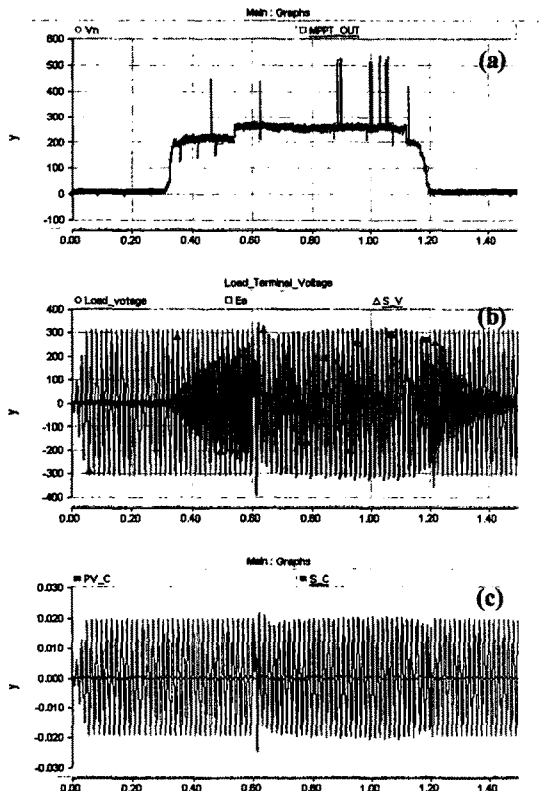
2.2 계통연계형 태양광 발전시스템의 PSCAD/EMTDC 모델링

태양전지 어레이를 PSCAD/EMTDC로 구현하는 것은 어레이의 비선형적이고 비정현적인 특성을 표현하는 것에 어려움이 있어 좀 더 정확한 출력 전압 및 전력 생성에 초점을 맞춰 15.2 kW 출력의 청와대에 실제 설치된 태양광 발전시스템의 어레이에서 7월 특정일의 데이터를 입력으로 하는 시스템으로 3 kW급 태양광 발전시스템을 그림 5와 같이 구성하였다. 태양광으로부터 얻은 직류를 교류로 변환하여 계통에 연계하기 위하여 DC-DC 컨버터와 DC-AC 인버터를 이용한다. 컨버터는 태양광으로부터 얻은 에너지가 어레이와 컨버터 및 인버터를 거치면서 손실되는 점을 고려하여 전압을 올리는 step-up 방식인 부스트 컨버터를 사용하여 PSCAD/ EMTDC 모델링하였으며, 높은 효율과 보다 안정된 교류파형을 얻을 수 있는 단일 전압 스위치(Unipolar Voltage Switch)를 이용한 PWM full-bridge 인버터로 모델링하였다. 또한 계통연계시 연결된 절연변압기는 직류성분을 차단할 목적으로, 수동필터는 안정된 교류 전압 및 전류를 생성할 목적으로 사용하였다 [4-5].

3. 사례 연구

사례연구에서는 PSCAD/EMTDC로 구현된 3 kW급 태양광 발전시스템을 계통에 연결하여 전력품질을 평가하였다. 전력품질 평가항목은 전압강하와 고조파에 대한 평가항목인 THD 및 TDD이다.

그림 6은 MPPT 제어가 이루어진 (a)태양전지 어레이의 DC 전압출력파형, (b)부하에 공급되는 전압 및 (c)전류파형을 24시간(1분이 0.001초)으로 가정하여 모의한 결과이다. 또한 태양광 발전시스템의 출력이 없는 시간대에서는 연계된 계통으로부터 전력을 공급받는 것을 모의하여 전력품질을 평가하였다.

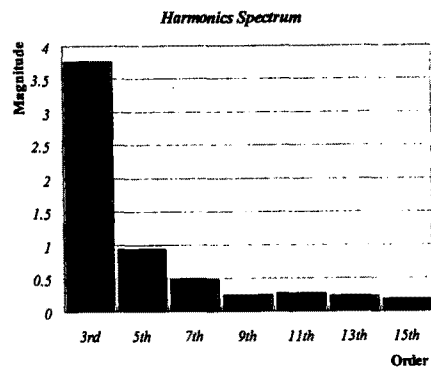


〈그림 6〉 PSCAD/EMTDC 모의결과 DC 전압, 부하전압 및 전류파형

전압강하율은 식 (3)처럼 정의되며, 배전계통에 연계된 태양광 발전시스템 경우 부하전압에 전압강하율은 4.238 [%]로 계산되었다. 한전기준은 10 [%] 이내로 계통연계형 태양광 발전시스템이 설치되어도 기준을 위반하지는 않았다. 여기서 V_s 는 무부하시 전압이며, V_r 은 전부하시 전압으로 정의될 수 있다[2].

$$\text{Voltage Drop}[\%] = [(V_s - V_r) / V_s] \times 100 \quad (3)$$

그림 7은 PV 시스템으로부터 부하에 공급되는 전압에서 발생하는 각차수 고조파 크기를 FFT(Fast Fourier Transformation)한 결과를 보여준다.



〈그림 7〉 PSCAD/EMTDC 모의결과 부하전압의 각 고조파 스펙트럼

THD와 TDD는 참고문헌 [6]의 IEEE-519 기준을 참고하여 평가하였다. IEEE에서 규정하는 THD 기준은 5 [%]이내이나 시뮬레이션 결과는 1.899 [%]로 위반하지 않았고, TDD의 경우 홀수차 고조파의 평가는 최대부하전류와 단락전류의 비가 $172.05 > 100 < SCR < 1000$ 인 영역의 총 TDD 기준은 15 [%] 이내여야 하는데 2.536 [%]로 역시 위반하지 않았다.

3. 결 론

태양광 어레이로부터 최대 출력점을 추종하기 위한 증분컨덕턴스 MPPT 제어 기법을 사용하였다. 여기에 부스트 컨버터와 PWM full-bridge 인버터를 연결하여 가정용 3 kW급 태양광 발전시스템을 PSCAD/EMTDC로 구현하였다.

전력품질을 평가하기 위해 모의한 결과, 전압강하율과 고조파의 THD 및 TDD 모두 IEEE 규정에 적합하였다. 이 결과는 주상변압기에 3 kW급 가정용 PV시스템이 연계되어도 큰 영향이 없다는 것을 보여준다. 그러나 앞으로 많은 가정용 PV시스템이 연계될 경우에는 전력품질 면에서 전압강하와 고조파 등이 크게 발생할 것이므로 향후 문제점을 해결하기 위한 노력이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이경수의 4인, "태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안", 전력전자학술대회논문집, 제10권 1호, pp. 21~28, 2005.
- [2] 정영석의 3인, "계통연계형 태양광발전시스템의 배전계통에 미치는 영향", 전력전자학술대회 논문집 1998 Power Electronics Annual Conference, pp. 100~102, 1998.
- [3] 한석우, "계통연계형 PV시스템의 가동률 향상에 관한 연구", 전력전자학회. 학술대회지, 2004년도 전력전자학술대회 논문집(1), pp.97-100, 2004
- [4] Rashid, Muhammad H., *Power electronics : circuits, devices, and applications*, 3rd ed., Prentice Hall, 2005.
- [5] Ned Mohan의 2인, *Power Electronics : converters, applications, and design* 2nd ed., John Wiley & Sons, 1995.
- [6] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Standard pp.519, 1992.