

PSCAD/EMTDC를 이용한 태양광 발전시스템의 배전계통 연계운전을 위한 모델링

김우현*, 강민규*, 김응상**, 김지원**, 노병권**, 유인근*
 (*창원대학교, **한국전기연구소)

Modeling for Utility Interactive Photovoltaic Power Generation System
 using PSCAD/EMTDC

WooHyun Kim*, Minkyu Kang*, EungSang Kim**, JiWon Kim**, ByongKwon Ro**, InKeun Yu*
 (*ChangWon Nat'l Univ, **KERI)

Abstract

Modeling for utility interactive photovoltaic power generation system has been studied using PSCAD/EMTDC.

The proposed model system consists of a simple utility circuit configuration, 3kW of single phase utility interactive photovoltaic system, single phase PWM voltage source inverter module, and feed forward PID controller as control circuit.

In the system, the DC current is assumed constant, and the voltage source inverter provides sinusoidal ac current for the loads of utility system.

The simulation results are given in order to verify the effectiveness of the proposed model. The phases of output voltage of utility system and the output current of the inverter module are compared. Especially, the compensation effect of the photovoltaic system for the unbalanced load is analyzed, and the transient phenomena for a phase to ground fault are also simulated.

1. 서 론

최근 경제의 지속적인 발전 및 인구의 증가에 따라 에너지 소비가 급증하고 있어 화석연료의 과다사용으로 인한 자원고갈은 물론 지구의 환경문제에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 특히 우리 나라는 에너지원의 97%가량을 수입에 의존하고 있으며 연간수입액도 200억\$, GNP 생산에 소비되는 에너지량은 선진국의 약 3배에 이르는 에너지 다 소비 국가이다. 따라서 에너지의 해외의존도가 높은 우리 나라는 에너지 절약기술 개발과 보급이 경제난관 극복을 위한 매우 시급한 과제라고 생각된다.

태양 에너지는 무한하면서도 깨끗한 에너지원인 동시에 지역적인 편차도 없다는 우수한 특징을 가지고 있어 오늘날 인류가 직면한 가장 큰 문제인 화석연료를 대체할 수 있고 환경친화적인 에너지이다. 이러한 우수한 장점을 가지고 있는 태양에너지이용의 기술보급을 위해 대체 에너지용 인버터 시스템개발[1,2]과 계통 연계용 태양광 발전시스템에 관한 연구가 각 분야에서 활발히 진행중이나[3,4,5] 국내에서는 아직 그 연구가 미약한 실정이다. 본 논문에서는 태양광 발전시스템에 대한 계통연계기술의 개발을 위하여PSCAD/EMTDC를 사용한 모델링 방법 및 해석기술을 제시하고자 한다.

2. 태양광 발전시스템

태양광 발전시스템의 일반적인 구성은 그림 1에서와 같이 태양전지보호용 퓨즈, IGBT를 이용한 H-bridge

회로, 고조파 제거를 위한 필터, 계통 측과의 연계를 위한 변압기 및 차단기 등으로 구성되어 있다. 시스템에 사용할 전류제어 인버터는 출력전류의 진폭 및 위상을 실시간으로 제어하며, 스위칭 주파수를 높여서 제어성을 향상시킬 경우 상용 주파수의 순시 전류를 미세하게 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 이러한 전류 제어형 고주파 인버터는 전력 계통과의 연계가 용이하며 과부하내량을 최소화 할 수 있다.

배전계통측면에서 연계용인버터는 다음사항을 유의하여 설계하여야한다

- 1) 사고시를 제외하고 0.5초 이하의 계통변동에 추종해서 차단 및 연계를 반복하지 않아야 한다
- 2) 내부 사고시에는 계통에서 확실히 분리하고 고장이 회복된 후 계통전원과 추종운전이 될 때까지 연계되지 말아야한다
- 3) 계통 사고시에는 계통에서 분리하여 인버터를 보호해야한다.
- 4) 계통전원의 전력품질을 저하시키지 않고 고조파, 순시 전압저하 등으로 인한 각종 문제점을 보상하도록 해야한다.

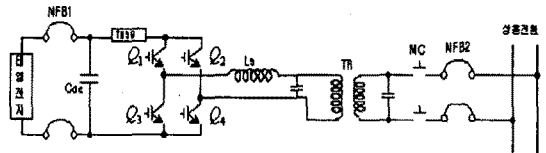


그림 1. 태양광 발전시스템의 구성

2.1 PSCAD/EMTDC 모델링

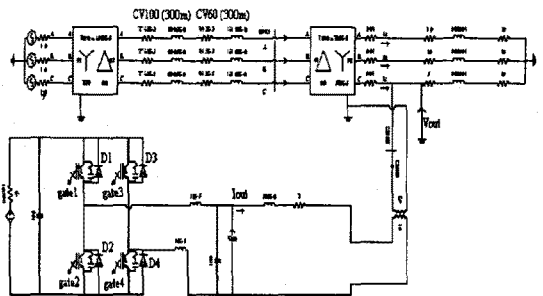


그림 2. PSCAD/EMTDC로 구성한 태양광 발전시스템의 상용전원 연계시스템

모델링을 하기 위한 전력변환 장치의 구성을 위해 MOSFET의 고속성과 고입력 임피던스 특성, Tr의 고내압 특성과 전압제어성도 함께 겸비한 소자로서 IGBT를 사용하였다. IGBT 모듈에는 전력용 반도체 소자에 인가되는 과도전압(dv/dt)으로 인한 전력용 반도체소자의 과도전압 충격을 방지하고 turn-on시 생기는 과도전류

(di/dt)를 제한하여 과도전류에 의한 충격을 방지하고자 스너버 저항(Rs)과 스너버 커패시터(Rc)로 구성하였고 부하의 인덕턴스에 축적된 전류에너지 순환용으로서 Freewheeling 다이오드를 사용하였다. 스너버회로와 Freewheeling 다이오드가 포함된 IGBT 모듈을 사용하여 충전 및 방전시의 인버터 스위칭이 원활히 동작할 수 있도록 하였다. 배전계통 구성으로서는 Source, 22.9/6.6[kV] 변압기, CV100(150m) CV60(300m) 6.6[kV]/380[V] 변압기, 부하로 되어있다. 시뮬레이션에 사용된 시스템의 파라메타는 표 1 및 2와 같다.

표 1. 태양광 발전시스템

태양전지 정격전압	DC 348 [V]
태양전지 전압변동	DC 280 ~ 430[V]
정격출력용량	3[kVA]
정격출력전압	220[V]
부하의 역률	0.95이상

표 2. 배전선로

선로경수	R	L
지중저압케이블		
CV 100mm ² (150M)	0.02745[Ω]	0.0915[Ω]
CV 60mm ² (300M)	0.00006963[H]	0.00014165[H]

(역률 90% 주파수 60Hz기준)

2.2 System 제어부의 구성

시스템 제어부에는 Feedforward 보상기와 PID제어기를 사용하였고, DC입력을 교류 정현파로 만들기 위해 PWM(Pulse Width Modulation)변조방식을 사용하였다. 태양광 발전시스템의 연계운전시 제어목적은 상용전원의 전압과 인버터 시스템의 출력전류의 위상을 동기화 시킴으로서 유효출력 전력을 최적화 시키고 출력전류의 총 고조파 왜곡(THD)을 최소화시키는데 있다. 제어부 구성의 기본적인 개념이 그림 3에 나타나 있다.

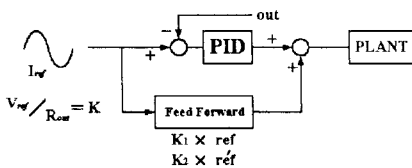


그림 3. 시스템 제어부의 기본구성

그림 4는 이러한 개념을 바탕으로 PSCAD/EMTDC 프로그램으로 제어부를 구성한 것으로서 Gate의 carrier signal은 10[kHz]의 삼각파를 사용하였고 reference signal은 60[Hz]의 정현파이다.

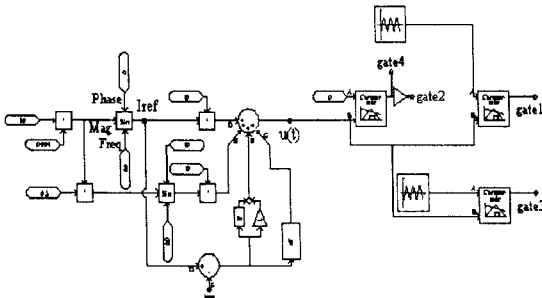


그림 4. PSCAD/EMTDC의 제어부

전력변환 장치의 시스템 모델링으로서 PWM 스위칭 방식은 그림 2 와 4 에서 제어입력 u(t)가 결정되었을 때

- ① u(t) > 0 이면, gate1은 ON-OFF가 되고 gate4는 계속 ON상태에 있게된다. 주기 내에 gate1이 OFF 되면 gate4- D₂를 통해 freewheeling-동작을 하게 된다.
- ② u(t) < 0 이면, gate3은 ON-OFF가 되고 gate2는 계속 ON상태에 있게된다. 이때 gate3이 OFF 되면 gate2-D₄를 통해 freewheeling 동작을 하게 된다.

그리고①→②, ②→①처럼 제어입력의 부호가 변화하는 경우에는 IGBT의 단락을 방지하기 위해 gate1, gate2가 ON 되기 전에 gate3, gate4는 OFF되어야 한다. 제어입력 u(t)의 출력파형을 그림 5에 나타내었다.

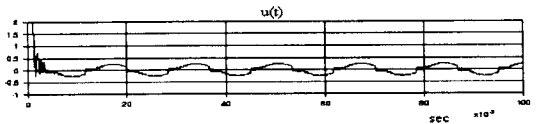


그림 5. 제어입력 u(t)

그림 5의 제어부의 출력 u(t)를 IGBT의 gate 단의 신호로 사용한다.

그림 6은 gate 신호의 파형으로 gate 1과4, gate 2와3이 동기화 되어 동작함을 보여 주고있다. 이러한 gate의 신호제어를 통해 IGBT를 turn ON/OFF 시켜 단상 교류전압을 얻을 수 있다.

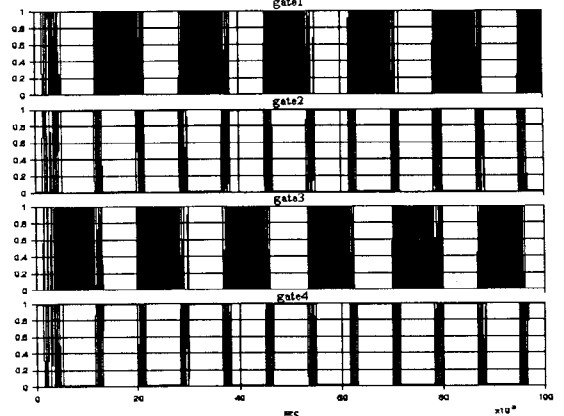
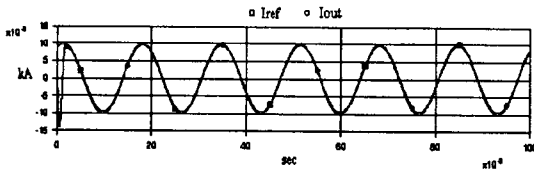


그림 6. Gate Signal

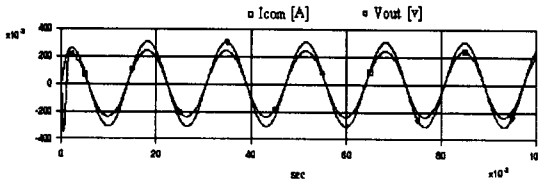
3. 시뮬레이션

2절에서 제시한 인버터 모델링과 설계한 제어가 연계운전시 조건과 잘 부합되는지를 보기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7-(a)는 전류 지령치와 인버터 출력전류의 파형으로 실시간으로 출력전류가 제어되고 있음을 보여주고, 기본파 왜형과 고조파가 없음을 보여주고 있다. 그림 7-(b)는 상용전원의 전압파형과 인버터 출력전류의 파형이다. 인버터 출력전류는 상용전원의 전압과의 위상차가 없이 역률이 1이 됨을 보여주고 있다. 그림 7-(b)의 인버터 출력전류 파형은 위상이 동기화 되는지를 보기 위해 Reference 전류에 상수 배한 값이다.



- Iref : 전류 지령치
- Iout : 인버터 출력 전류파형

(a) 전류 reference와 인버터 출력 전류파형 비교

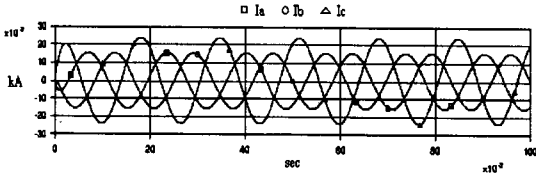


- Icom : 인버터 출력 전류파형 * 상수
- Vout : 상용전원 전압파형

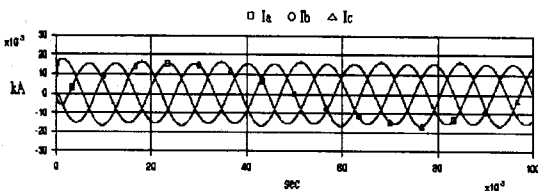
(b) 상용전원 전압파형과 인버터 출력 전류파형 비교

그림 7. 출력파형 위상비교

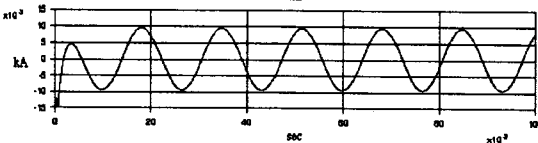
태양광 발전시스템의 보상정도를 보기 위해 시스템 부하를 불평형으로 구성하였고, 계통 불평형시 변압기 2차 출력(a)과 태양광 발전시스템 연계시의 파형(b), 부하 불평형에 대한 보상 전류분(c)을 그림 8에 나타내었다.



(a) 부하 불평형시 계통의 전류파형



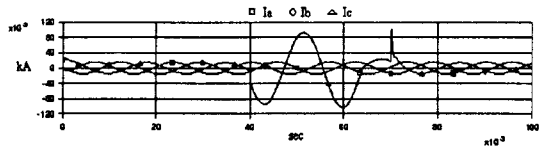
(b) 태양광 발전시스템의 계통 연계시 출력파형



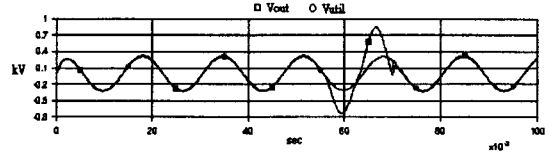
(c) 불평형 부하 보상전류

그림 8. 부하 불평형시 전류파형 비교

그림 9는 계통에서 가장 빈번히 발생하는 1선 지락사고에 대한시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 9 (a)에 C상 지락사고시 변압기 2차측 출력전류를 나타내고 그림 9 (b)는 이 때 태양광 발전시스템 출력전압의 과도응답특성이다.



(a) 1선 지락사고 파형



(b) 1선 지락사고시 전압의 과도응답 특성

그림 9. 1선 지락사고

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 PSCAD/EMTDC로 모델링하고 계통에 연계시의 태양광발전시스템의 출력파형과 상용전원의 출력파형을 비교하여 본 결과 출력파형의 크기 및 위상이 계통의 연계조건에 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 부하 불평형과 1선 지락사고를 모의하여 태양광 발전시스템의 연계효과와 사고시의 과도특성을 분석하였다.

태양광 발전시스템의 발전출력이 비록 소규모이긴 하나 여름철 침두부하의 극복과 전력공급의 경제적 측면에서 볼 때 매우 효과적으로 사용될 것으로 사료된다. 실용화 추진단계에 있는 태양광 발전시스템은 1997-2006년까지 정부의 에너지 개발 10 개년 계획에 연간 총 에너지 사용량의 2%를 담당하도록 되어있다. 이제 더 이상 태양에너지는 간과해서는 안되며 전력시스템 연계시에 발생할 수 있는 제반 문제점을 검토하여 최적시스템 구성 방안을 모색해야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Ho-Gyun Ahn, Seung-Kyu Park, Tae-Yeop Kim, "Inverter System for Alternative Energy using Variable Structure Control", KIEE Trans. pp. 1659-1666, 1998.
- [2] S. nonaka, K. Kesamaru, K. yamasaki, T. Murakami, M. Nishi & Y. Neba, "Interconnection System with Sinusoidal Output PWM Current Source Inverter between Photovoltaic Arrays and the Utility Line", proc. of 1990 IPEC-TOKYO, p.144, 1990.
- [3] Keiju matsui, Yan Hu, "Utility-Interactive 3Kw Photovoltaic Power Conditioning System by Using Foward Converter", IPEC-Yokohama. pp. 189-196, 1995.
- [4] Naser abdel-Rahim, "A single Phase Voltage-Source Utility interface System for Weak AC Network Applications", IEEE pp. 93-98, 1994.
- [5] Sakutarō Nonaka, "A Utility-Connected Residential PV System Adapted A Novel Single-Phase Composite PWM Voltage Source Inverter", IEEE (WCPEC) pp. 1064-1068, 1994.