

EMTP를 이용한 태양광 연계 계통의 역률 제어기 구현

김상협*, 이상봉*, 김철환*, 류승현**
 성균관대학교*, 영동대학교**

EMTP Implementation of Power Factor Controller in Utility Interactive Photovoltaic System

Sang-Hyub Kim*, Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*, Seung-Heon Lyu**
 Sungkyunkwan University*, Youngdong University**

Abstract - A photovoltaic power generation system is one of the ideal clean energy sources increasingly replacing fossil fuel, which has many environmental problems such as exhausted gas or air pollution. As a photovoltaic generation system should meet the requirement to be connected to utility, power factor is an important factor for the high quality of power. This paper implements a power factor controller to improve the power quality of utility interactive photovoltaic system. To verify the effectiveness of the implemented power factor controller, the results by Electromagnetic Transients Program (EMTP) are presented.

1. 서 론

현재 사용 중인 전기에너지는 원자력발전, 화력발전에 대부분 의존하고 있다. 특히, 화석연료사용 발전은 자원 고갈 및 환경오염, 생태계 파괴 등 많은 문제를 대두시키고 있다. 이러한 문제에 대한 대안으로써 태양광 발전 및 풍력 발전 등과 같은 대체에너지 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 미래 에너지원 중에서도 무한정 하며 또한 청정한 자연에너지원으로서 각광을 받고 있는 태양광발전은 에너지원의 다양화·분산화가 추진되는 상황이다. 최근에는 지역에 따른 편중성이 없고 설치 규모의 선전에 자유로운 소규모 주택용 태양광발전시스템의 개발이 활발하게 추진되고 있다[1].

일반적으로 계통 연계형 태양광 발전시스템은 태양전지, MPT(Maximum Power Tracking) 컨버터, 태양전지에서 발전된 전력을 계통에 공급하기 위한 인버터로 구성된다. 주택 및 오피스 빌딩 등과 같은 비선형 및 역률 부하에 적용 시 태양광 발전에 의한 추가 유효전력 공급으로 계통 역률은 오히려 악화되는 문제점을 가지고 있다. 또한, 컴퓨터 및 현대적인 전자기기 같은 비선형 부하의 급증과 전기기기 같은 비선형 부하의 사용은 계통의 고조파 증가 및 역률 감소 같은 계통의 전력품질은 물론 전기기기의 오동작 및 전력변환기의 정격용량증가 같은 문제점을 발생시키게 된다[2].

본 연구에서는 태양광 발전시스템의 계통 연계시 연계계통의 전력 품질을 개선하고자 역률을 제어하는 제어기를 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 이용하여 구현하였다.

2. 태양광 전원 모델링

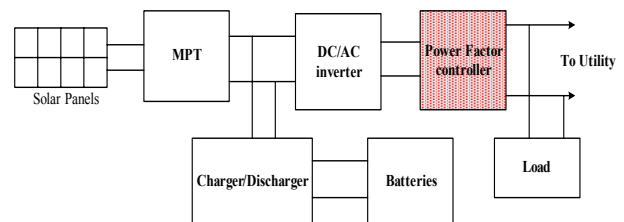
태양광 전원은 태양광에서의 빛에너지를 직접 전기 에너지를 변환시켜 사용한다. 이때 계통 연계형과 단독 운전형으로 구분되는데 계통연계형의 경우 utility측과 연계되어 전력 조류의 상호 교환이 가능한 형태이며, 단독 운전형의 경우에는 부하점에 직접 연결되어 부족전력을 공급하는 형태로 되어있다. 본 연구에서는 계통 연계형 태양광 전원을 고려하였다.

2.1 계통연계형 태양광 전원

태양광 전원이 계통에 연계된 경우 태양전지에서 생산된 전력을 태양광 전원이 접속된 지점의 부하에 인버터를 이용해 공급하게 되고 이때, 잉여 전력은 utility 접속점을 통해 계통에 전력을 공급한다. 공급되는 잉여 전력은 태양광 전원 내부의 인버터에 의해 제어되며, 전압의 품질, 전류의 품질이 결정된다. Utility 접속점은 계통내의 다른 부하가 연결되어 있으며 이때 연결되어진 부하의 종류에 따라 그 점에서의 역률이 결정된다[2-4].

따라서, 본 논문에서는 태양광 전원의 계통 연계점의 역률을 개선하기 위한 방안으로 태양광 전원에 의해 공급되는 전력을 보상하도록 하였다. 즉, 계통 연계점의 역률 상태에 따라 태양광 전원의 전력 공급시 무효전력을 동시에 보상하도록 역률제어기만을 구현 하였으며 향후 연구에서

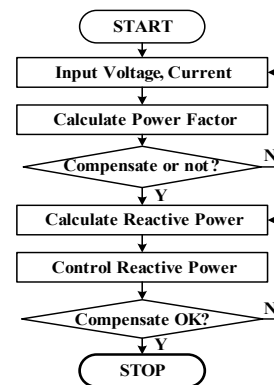
는 인버터를 포함한 전체 태양광 전원을 모델링 할 예정이다. 그림 1은 역률 보상을 위한 제어기가 추가된 태양광 전원의 내부 구조도이다.



〈그림 1〉 PV system with power factor controller

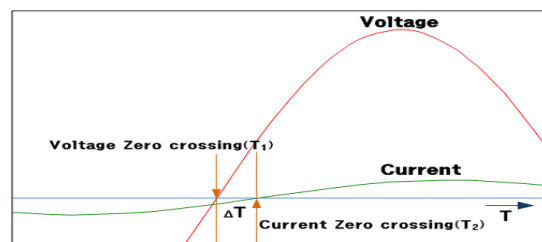
2.2 EMTP를 이용한 Power Factor Controller

그림 2는 태양광 전원 내부의 역률 제어기의 동작 알고리즘으로 EMTP/MODELS를 이용해 구현 하였다.



〈그림 2〉 Flow chart of power factor controller

역률제어기는 역률을 계산하여 일정 역률을 만족하지 않는 경우 무효 전력을 보상하여 역률을 보상한다. 그림 3에서 역률은 전압과 전류의 위상차이로 계산되므로 입력 전압, 전류의 영점교차 시점(zero-crossing point : ZCP)를 moving window를 이용해 계통운전 중에는 계속 모니터링 하도록 하였다.



〈그림 3〉 ZCP detection for power factor

$$Time\ Difference\ \Delta T = |T_1 - T_2| \quad (1)$$

전류역률 계산은 식 (1)을 이용하여 빠른 연산이 가능토록 하였다.

T_1, T_2 는 각각 전압, 전류의 ZCP 에서의 시간이며 시간지연인 ΔT 를 구하고 식 (2)를 이용해 역률을 계산 하였다.

$$\text{역률각 } \theta = (360 \times \Delta T) / 1\text{주기 Time, Power Factor (PF)} = \cos \theta \quad (2)$$

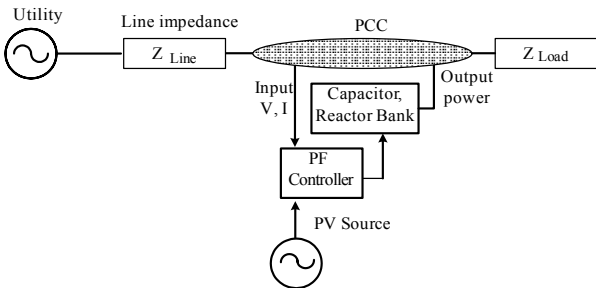
이때, 계산된 역률이 설정치 이하인 경우 역률보상을 위한 무효전력원을 제어하게 되는데 이때 필요한 무효전력 주입을 위해 TACS 스위치를 이용한 커패시터, 리액터의 투입 여부를 결정 하도록 하였으며 투입되는 무효전력량은 식 (3)에 의해 결정된다[5,-7].

$$Q_{\text{compensated}} = P \left\{ \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_2} - 1} \right\} [kVA] \quad (3)$$

여기서 θ_1 은 역률 보상전 역률각이고 θ_2 는 역률 보상후 역률각이다. P는 부하의 유효전력[kW] 이다.

3. 모의 시험

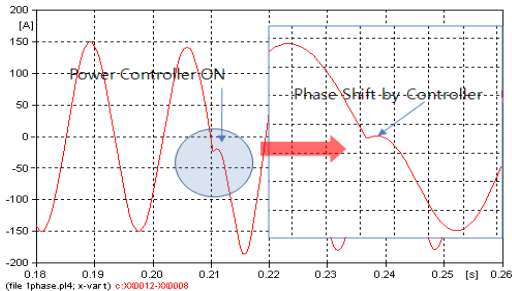
모의시험은 그림 4를 이용하여 구현된 역률제어기의 결과를 나타내었다. 부하를 조정하여 초기 역률은 0.78으로 하였으며 보상 역률 목표 값은 0.95로 정하였다.



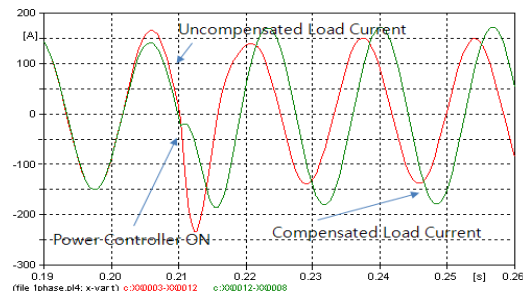
〈그림 4〉 Simulation system for power factor controller

3.1 모의 결과

그림 5는 부하에 흐르는 전류의 파형을 나타내는데 역률제어기의 동작으로 전류의 위상이 shift 되는 것을 확인 할 수 있다. 이때, 보상되는 위상은 최종역률을 0.95로 맞추기 위해 EMTP/MODELS에서 무효전력원을 제어하여 자동적으로 계산되도록 하였다.



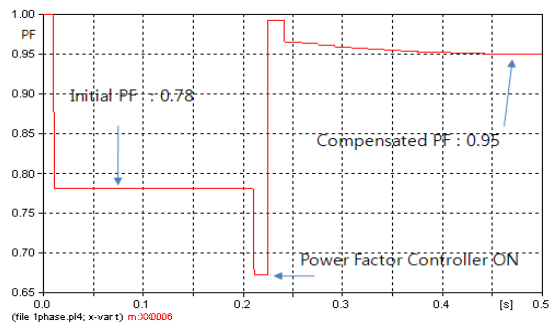
〈그림 5〉 Compensated Current by controller



〈그림 6〉 Load current

그림 6은 부하에서의 역률제어기 동작 유무에 따른 전류파형을 나타내었다. 역률제어기가 동작함으로써 해서 위상 및 크기가 변화하는 것을 확

인 하였다. 그림 7은 부하에서의 역률변화를 나타낸다. 초기 역률 0.78로 운전중에서 역률 제어기 동작으로 목표치인 최종역률을 0.95로 수렴하는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 7〉 Compensated power factor by controller

3.2 추후 연구

본 연구에서는 태양광 연계계통에서의 역률 보상을 위한 제어기를 구현하였다. 그러나 구현된 역률제어기는 본문에서 언급한 바와 같이 태양광전원의 인버터부분을 고려하지 않은 상태이다. 따라서 실제 태양광 연계계통의 역률을 실질적으로 보상하는 제어기 구현을 위해서는 일사량에 따른 태양광 출력, 역률에 따른 인버터의 출력전류 조정, 그리고 인버터 출력과평 smoothness를 위해 적용되는 대용량 인덕터 필터 등을 고려한 지속연구가 반드시 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 연계계통에서의 부하임피던스에 따른 역률을 보상하고자 EMTP를 이용하여 역률제어기를 구현하였다. 구현된 역률제어기의 동작 특성을 확인하고자 모의 계통을 이용하여 그 결과를 확인 하였다. 비록 태양광전원 및 인버터를 고려하지 않고 단지 부하점에서의 역률만을 고려하여 역률을 보상하였으나 모의 결과에서와 같이 역률 제어 성능에는 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

따라서, 향후 태양광전원의 실제 모델링, 인버터의 역률 제어기능을 포함한 인버터 출력전류 제어를 통해 실제 계통의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

-감사의 글-

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

-Acknowledgment -

This work is the outcome of a Manpower Development Program for Energy & Resources supported by the Ministry of Knowledge and Economy (MKE)

[참 고 문 헌]

- [1] 임정민, 이상훈, 박성준, 문체주, 장영학, 이만형, “태양광 발전을 위한 6-Pulse-shift 전류형 인버터에 관한 연구”, 전력전자학회논문지, 제11권, 제3호, pp.193-200, 2006년 3월.
- [2] S. Kim, Gwong Yoo, Jinson Song, “A utility connected Photovoltaic system with power factor correction and U.P.S facility”, 전력전자학회 1996년 창립기념 학술대회논문집, pp.103-108, 1996년 6월.
- [3] Kang-Hoon Koh, Hyun-Woo Lee, Ki-Young Suh, K. Takashi, K. Taniguchi, “The power factor control system of photovoltaic power generation”, Power Conversion Conference, Vol. 2, pp.643-646, April 2002.
- [4] Yu-Kang Lo, Jin Yuan Lin, Tin-Yuan Wu, “Grid-connection Technique for a Photovoltaic system with power factor correction”, IEEE ,16-18 Jan. 2006.
- [5] 송길영, “최신 송배전 공학”, 동일 출판사, 2006년
- [6] 고성훈, 조아란, 강대업, 박천성, 전철환, 이성룡 “전력 품질 개선 기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템”, 전력전자학회논문지, 제 12권 제4호 PP.300-309, 2007년 8월
- [7] Hwang Hye Mi, So Jung Hun, Yu Gwon Jong, Kim Kwang Ho “분산형 태양광 시스템이 일반용 수용가에 미치는 영향에 관한 고찰”, 2007년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 PP.1249-1250