

# 계통 연계형 3상 PWM 인버터의 유·무효전력제어 방법

안현진\*, 정영국\*\*, 임영철\*, 오승열\*\*\*, 김광현\*

전남대학교 전기공학과\*, 대불대학교 융합기술학부\*\*, 전자부품연구원\*\*\*,

## Active and Reactive Power Control Method for Grid-Connected Three-Phase PWM Inverter

Hyun-Jin Ahn\*, Young-Gook Jung\*\*, Young-Cheol Lim\*, Seung-Yeol Oh\*\*\*, Kwang-Heon Kim\*  
Chonnam National University\*, Daebul University\*\*, KETI\*\*\*

### ABSTRACT

본 연구에서는 3상 계통 연계형 인버터의 유·무효전력제어를 통해 부하에 필요한 전력을 공급하며 계통과 인버터를 안정적으로 연계하는 방법을 다루고 있다. 부하 변동 및 계통전압과 인버터 전압의 위상차  $\theta$ 에 따라 PSIM 시뮬레이션을 수행하였으며, 타당성을 입증하였다.

### 1. 서론

인류는 지금까지 화석연료(석탄, 석유, 천연가스 등)에 의한 에너지에 의존해 왔다. 이러한 화석연료의 사용으로 인한  $CO_2$  배출은 심각한 환경 문제를 유발하고 또한 한정된 매장량으로 인하여 화석연료의 사용을 줄이고자 신재생 에너지에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 신재생 에너지와 계통과의 연계 필요성이 증대되고, 따라서 계통 연계형 인버터의 연구가 필요하다[1]. 분산발전 시스템은 크게 계통, 인버터, 부하로 구분되며 이 인버터 시스템과 계통이 연계되는 경우, 전력제어는 중요하다. 즉 인버터는 부하에 필요한 전력을 공급하면서 계통의 안정도를 유지하여야 한다. 본 연구에서는 3상 PWM 인버터의 유·무효전력제어를 통하여 부하에 필요한 전력을 공급하면서 안정적으로 계통과 연계하는 방법을 다룬다. 계통전압과 인버터 전압의 위상차  $\theta$ 와 부하에 따라 PSIM 시뮬레이션을 수행하였으며, 타당성을 입증하였다.

### 2. 계통 연계형 3상 PWM인버터

그림 1은 계통 연계형 3상 PWM 인버터 시스템을 나타내고 있다. 계통의 3상 전압  $G_{grid}$  및 전류  $i_{grid}$ 를 검출하고 이를  $d-q$  변환을 한 후, 유·무효전력제어 알고리즘에 의하여 인버터를 제어한다. 식 (1)은 R-L부하에 대한 상전압 방정식을 나타내고 있으며, 여기서  $e$ 는 계통전압을 의미한다.

$$v_{abc} = Ri_{abc} + L \frac{di_{abc}}{dt} + e_{abc} \quad (1)$$

이 식을 동기좌표계의 d축과 q축에 대한 성분으로 나눠 정리하면 식 (2)와 같다.

$$v_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} - \omega L i_q + e_d$$

$$v_q = Ri_q + L \frac{di_q}{dt} + \omega L i_d + e_q \quad (2)$$

그림 2는 식 (2)에 대한 제어 블록선도이다. 식 (3)의 전력방정식은 유효전력 부분과 무효전력 부분으로 구분된다. 계통전압을 d-q 변환하여  $e_d, e_q$ 을 구하고, 유·무효전력의 지령치 ( $P^*, Q^*$ )는 인버터의 직류전압  $V_{dc}$ 과 전류  $I_{dc}$ 를 이용하여 구한다. 인버터의 출력은 유효전력만 존재해야 되므로  $Q^*$ 는 0이 되어야한다.  $P^*, Q^*$ 를 정격전압  $v_{rate}$ 로 나누면, 전류 지령치 ( $i_d^*, i_q^*$ )가 구해진다. ( $v_{rate} = \sqrt{(e_d)^2 + (e_q)^2}$ )

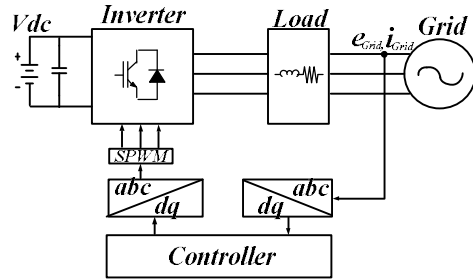


그림 1 계통 연계형 PWM 인버터 시스템  
Fig. 1 Grid-Connected inverter system

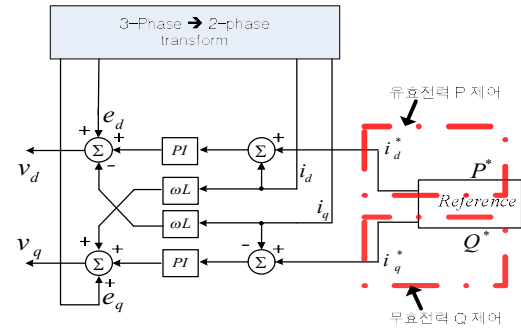


그림 2 유·무효전력 제어 방법  
Fig. 2 Active and reactive power control method

$$\begin{aligned} S &= P^* + jQ^* \\ &= e_d i_a^* + e_b i_b^* + e_c i_c^* \\ &= \frac{3}{2} (e_d + j e_q)(i_d + j i_q) \\ &= \frac{3}{2} [(e_d i_d - e_q i_q) + j(e_d i_q + e_q i_d)] \end{aligned} \quad (3)$$

d, q 전류를 제어함으로써 공급되는 전력을 제어할 수 있으며, 그 결과 인버터는 유·무효전력제어에 따라 순시전력 추종 제어를 하게 된다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 본 연구의 타당성을 입증하기 위한 시스템을 나타내고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 계통 및 부하의 전압과 전류를 검출하고, 인버터가 안정적으로 전력을 공급하는지 확인하기 위해 0.5[s] 이후부터 인버터를 동작하였다. 인버터 측의 직류전압은 400[V]이고, 부하는 (5[mH], 1[Ω])와 (15[mH], 1[Ω])을 사용하였다. 계통의 3상 전압은 220[Vrms](line to line)/ 60[Hz]이며, 또, 계통전압과 인버터 전압의 위상동기를 확인하기 위해, 두 전압의 위상차  $\theta$ 를  $0^\circ$ 와  $60^\circ$ (인버터 전압을 기준으로 하여 계통전압이  $60^\circ$ 진상)의 조건으로 시뮬레이션을 하였다.

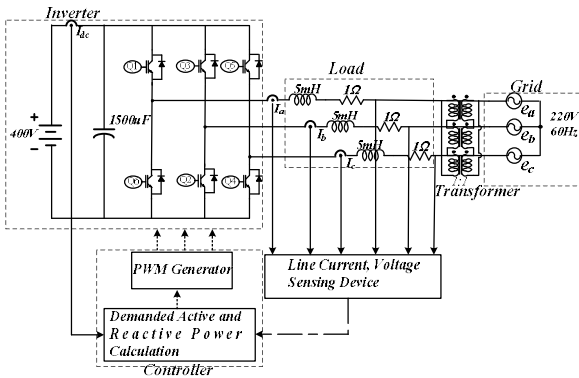
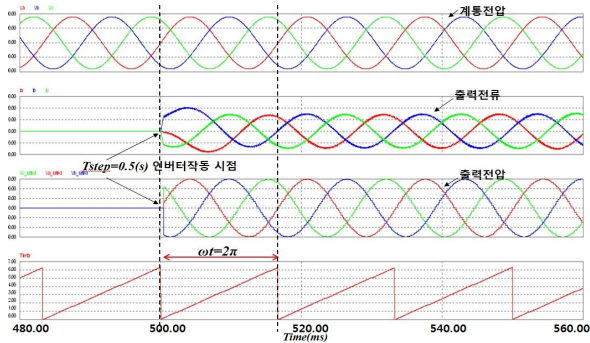


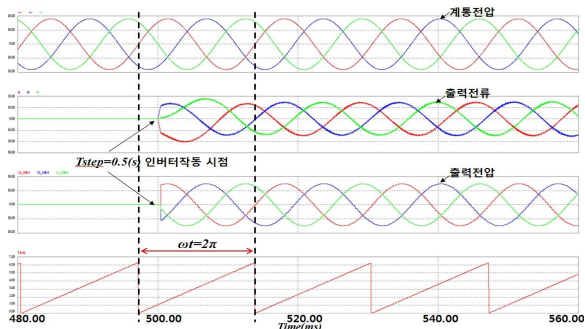
그림 3 전체 시스템 구성도

Fig. 3 Entire system configuration

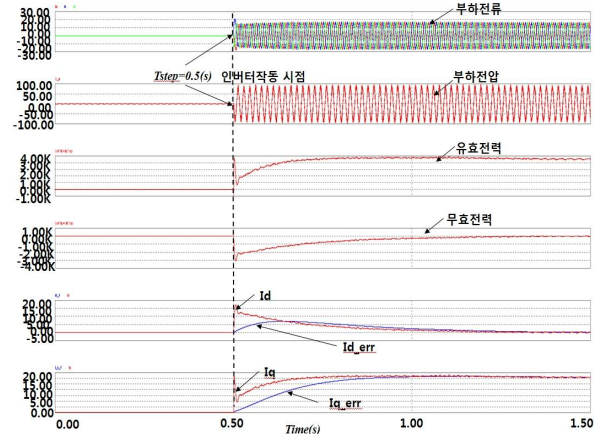
그림 4(a)와 (b)는 부하를 일정하게 하고 인버터의 동작 시점은 같게 하여  $\theta$ 의 변화에 따라 인버터 전압의 위상을 비교한 것이다. 인버터는 0.5[s]부터 동작한다. (a)와 (b)의 한 주기를 비교해 볼 때, 인버터 전압의 위상이 계통전압의 위상과 같음을 알 수 있다.



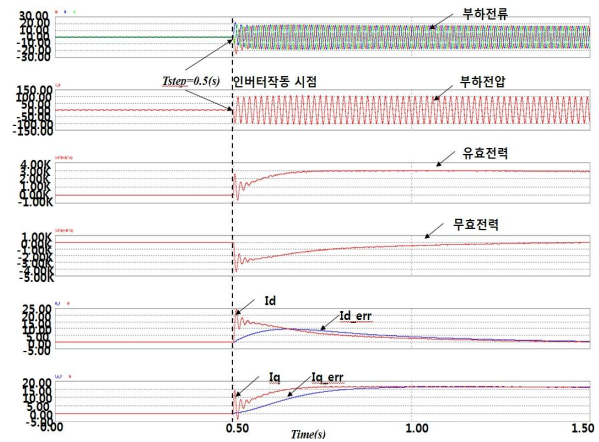
(a) R-L고정(5[mH], 1[Ω]),  $\theta = 0^\circ$



(b) R-L고정(5[mH], 1[Ω]),  $\theta = 60^\circ$ 진상



(c) R-L변동(5[mH], 1[Ω]),  $\theta = 0^\circ$



(d) R-L변동(15[mH], 1[Ω])  $\theta = 0^\circ$

그림 4 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Simulation results

그림 4(c)와 (d)는  $\theta = 0^\circ$ 로 동일한 조건하에서, 다른 부하 (5[mH], 1[Ω]와 15[mH], 1[Ω])에 대해 유효전력과 무효전력을 제어한 결과이다. 인버터의 출력이 부하의 조건에 따라서 무효전력을 0이 되도록 전류값( $i_d, i_q$ )을 제어하여, 유효전력 성분만을 출력시키는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문은 계통 연계형 인버터가 안정적으로 전력을 공급하는 모델을 PSIM시뮬레이션으로 구현하였다. 인버터 유·무효전력 제어에 의해 계통전압과 인버터 출력전압의 위상이 동기되고, 인버터의 공급전력이 안정적으로 제어됨을 PSIM 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

본 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단) 및 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.2007-P-EP-HM-E-09-0000)

### 참고 문헌

- [1] S.-K. Chung, "Phase-locked loop for grid-connected three-phase power conversion systems", Electric Power Applications, IEEE Proceedings, Vol. 147, pp.213-219, 2000, May.