

## A Novel Method for Anti-Islanding Using Reactive Power Control

鄭 鎭 範\* · 崔 鳳 柱\*\* · 金 熙 峻† · 安 康 淳\*\*\*

(Jin-Beom Jeong · Bong-Ju Choi · Hee-Jun Kim · Kang-Soon Ahn)

**Abstract** - Recently, the study of islanding phenomenon, maintains its operation even when the utility grid is removed, has lead to the trend of utility interactive inverters in photovoltaic generation systems. In this paper, a novel Anti-islanding method is presented. the proposed method can keep the real average power component constant by MPPT control and cause the load current frequency with only change of reactive power component under the islanding condition. its periodical change of Reactive power component can decrease the NDZ(Non-Detective zone) so that the detection of various loads will be possible. the insufficient effect if additional reactive power component to the grid is proved theoretically and the islanding detection is also confirmed from a experimental result with a inverter for 3kW photovoltaic generation system applied the proposed Anti-islanding method.

**Key Words** : Islanding, Photovoltaic, Anti-Islanding, Reactive Power Control

### 1. 서 론

최근 에너지의 고갈, 심각한 환경오염 문제 등이 대두되고 이에 따라 다양한 형태의 대체 에너지가 개발, 보급되는 추세이다. 그 중에서도 태양광 발전이 무한한 발전 가능성과 친환경성의 측면에서 가장 이상적인 대체 에너지 원으로 각광받고 활발한 연구가 진행되어 왔다.

태양광 발전 시스템은 상용계통과의 연계여부에 따라 독립형과 계통 연계형으로 나뉘어진다. 그 중 계통 연계형은 단방향의 전력조류만을 허용하던 기존의 배전계통에 태양광 발전 시스템이 추가됨으로써 배전 계통의 보호 및 운용관리, 품질 등에 다양한 영향을 미치게 된다. 특히 사고에 의한 차단기의 동작이나 계통의 보수를 위한 차단 등으로 계통으로부터 전력공급이 차단되었음에도 태양광 발전 시스템에 의해 지속적인 전력이 배전계통에 공급되는 독립운전 상태는 전력품질의 저하 및 계통 복구의 어려움, 인명피해, 기기의 손상 등을 야기할 수 있다. 따라서 계통 연계형 태양광 발전시스템은 계통 전력의 차단여부에 따라 시스템의 독립운전상태가 검출되고 제어기를 통한 발전시스템의 신속한 정지가 이루어져야 한다. [1]

기존의 독립운전 검출법은 크게 능동적 방법과 수동적 방법이 있다. 수동적 방법은 대부분 계통 차단시 발생하는 부

하의 변동에 따른 전압 및 주파수 변화를 관찰하여 독립운전을 방지하는 방법으로 주파수변화를 검출방식과 전압위상 검출 방식 등이 있다. 그러나 계통과의 연계가 유지되고 있는 정상동작 상태임에도 전력계통에 큰 부하 변동이 발생하였을 때 나타나는 주파수 및 전압위상의 변동이 독립운전 상태로 오인되는 오동작 가능성이 있다. 또한 독립운전 상태에서 발전시스템이 담당하는 부하가 독립운전 이전에 비해 미소한 변동만이 발생한 경우, 부하 전압의 주파수와 위상 변화 또한 미미하여 독립운전상태 검출이 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 수동적 방법의 단점을 보완하기 위하여 발전시스템의 출력을 임의로 변화시켜 그에 따른 부하전압 및 주파수의 변화를 관찰함으로써 독립운전을 검출하는 능동적 방법이 다양하게 연구되고 있다. 그러나 능동적 방법은 수동적 방법에 비해 신속하고 정확한 검출이 가능한 반면 계통에 원하지 않는 영향을 미치게 되는 단점이 있어 비교적 간단한 수동적 방법이 많이 사용되고 있다. [1][2]

본 논문에서는 무효전력제어를 이용한 새로운 능동적 독립운전 검출법을 제안하였다. 제안한 검출법은 태양광 발전 시스템 출력의 유효전력성분은 P&O법에 의해 최대가 되도록 제어하고 무효전력성분만을 주기적으로 미소변동 시킴으로써 출력전압과 전류의 위상차를 발생시킨다. 이로 인해 계통 차단시 부하전압 및 전류는 지속적인 주파수의 감소 혹은 증가가 유도되고 고주파/저주파 보호회로(OFP/UFP)를 동작시킴으로써 태양광 발전 시스템이 정지한다. 즉, 발전시스템 출력의 무효전력성분을 변동시킴으로써 독립운전을 검출하는 새로운 방법으로 기존의 OFP/UFP 회로를 이용하면서도 신뢰성 높은 매우 유용한 검출 방법이다.

3kW급 태양광 발전용 인버터를 제작하여 계통 차단 실험을 함으로써 독립운전의 신속한 검출이 이루어짐을 확인

† 교신저자, 終身會員: 漢陽大學校 電子·컴퓨터工學部 教授·工博  
E-mail : hjkim@hanyang.ac.kr

\* 正 會 員 : 漢陽大學校 電子電氣制御計測工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 漢陽大學校 電子電氣制御計測工學科 碩士課程

\*\*\* 正 會 員 : 株式會社 윌링스 代表

接受日字 : 2005年 1月 7日

最終完了 : 2005年 3月 8日

하였다. 또한 제한한 검출법이 계통에 미치는 영향이 최소화된 능동적 방법임을 이론적 해석과 실험 결과로부터 보여 주었다.

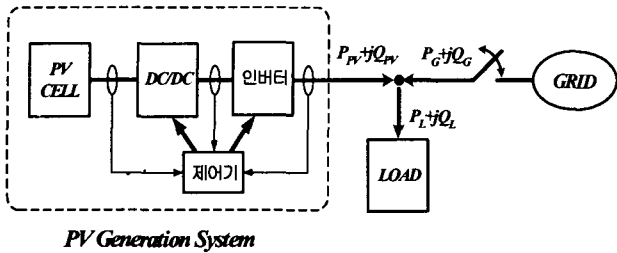


그림 1 일반적인 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 구성도  
Fig. 1 A general block diagram of utility interactive photovoltaic generation system

## 2. 기존의 수동적 독립운전 검출법

그림 1은 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 전체 구성을 개략적으로 나타낸 것으로 부하에 공급되는 유효 및 무효전력 성분은 식 (1)과 같이 표현된다. 일반적인 태양광 발전용 인버터의 출력은 기본적으로 MPPT 제어에 의해 유효전력 성분  $P_{pv}$ 만 존재하도록 제어가 된다. 따라서  $Q_{pv}=0$ 이 되고 부하의 무효전력 성분  $Q_L$ 은 계통이 전부 담당하는  $Q_L=Q_G$  상태이다.

$$\left. \begin{aligned} P_L &= P_{pv} + P_G \\ Q_L &= Q_{pv} + Q_G \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

인버터 출력에 유효전력성분만 존재하도록 제어가 되는 일반적인 계통 연계형 시스템에서, 계통과의 연결이 차단되기 이전 상태가 계통 유효전력  $P_G \neq 0$  인 상태였다면 발전 시스템의 독립운전 돌입시 부하전압의 순간적인 상승 혹은 하강이 발생한다. 이 전압 변동은 과전압 보호회로(OVP)나 저전압 보호회로(UVP)에 의해 검출되고 발전 시스템이 독립운전상태임을 판단할 수 있다. 또한  $Q_G \neq 0$  상태에서 계통과의 연결이 차단되면 부하전압 및 전류의 순간적인 위상 변동이 발생하고, 이 주파수 변화는 고주파 보호회로(OFP)와 저주파 보호회로(UFP)에 의해 독립운전 상태로 검출된다. 그러나 부하전압의 크기나 주파수를 검출하여 독립운전 상태를 판단하는 수동적 방법의 경우, 그림 2에 나타난 것과 같이 독립운전을 검출할 수 없는 비검출 영역(NDZ-Non Detection Zone)이 폭넓게 존재하는 단점이 있다.[2][3]

비검출 영역은 OVP/UVP 및 OFP/UFP 회로에서 선정된 동작 기준값에 따라 변하게 된다. 또한 정상적인 계통연계 상태에서도 순간 부하변동에 따른 주파수 및 전압의 변화가 존재하므로, 보호회로가 민감하게 동작하는 것을 방지하기 위하여 관련 규정등에 따른 적절한 여유를 두어야 한다. 따라서 부하변동이 큰 계통과 연계된 시스템은 그림 2의 비검출 영역이 넓어지게 된다. 그러므로 비검출 영역내에서 변동이 발생하는 경우, 즉  $P_G \neq 0, Q_G \neq 0$  인 경우라 하더라도 그 값이 미소하여 계통 차단시 부하 전압의 크기나 주파수 변화가 미미한 경우, 독립운전 검출은 어렵게 된다.

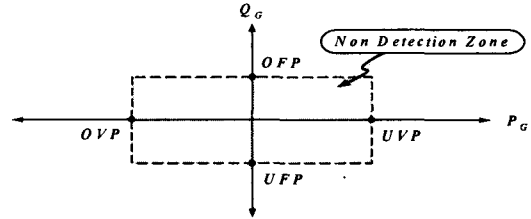


그림 2 전압 및 주파수 검출을 이용한 수동적 방법에서의 비검출 영역(NDZ)

Fig. 2 NDZ(Non Detection Zone) in the passive method by voltage and frequency detection

특히 부하로의 전력공급을 전부 태양광 발전 시스템이 담당하고 있는  $P_G=0, Q_G=0$  인 상태에서 차단되었을 경우, 부하 전압의 크기 및 주파수 변화는 전혀 발생하지 않게 되어 사실상 수동적 방법만으로는 독립운전 검출이 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 비검출 영역 내에서도 정확한 독립운전 여부를 판단하기 위해서는 인버터 출력에 임의의 변화를 주어 계통 차단 전,후의 변화를 관찰하는 능동적 방법이 유리하다. 그러나 능동적 방법은 인버터 출력의 변화에 기인한 다양한 불안정 요소를 계통에 야기할 수 있으므로 적용에 주의하여야 한다.

## 3. 무효전력 제어를 통한 독립운전 검출법

### 3.1 무효전력 제어를 통한 독립운전 검출 알고리즘

본 논문에서 제안하는 무효전력 제어를 통한 독립운전 검출법은 기존의 OVP/UVP 및 OFP/UFP 회로만을 이용하는 수동적 방법에 비해 매우 좁은 비검출 영역을 지니고 있다. 또한 제어되는 무효전력성분의 크기가 미소하여 계통에 최소화 된 영향만을 미치는 방법으로, 제한한 검출 방법을 구현하기 위한 태양광 발전 시스템의 개략적 구성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타난 것과 같이 태양전지의 출력 전압  $V_{CELL}$  및 전류  $I_{CELL}$  을 검출하여 P&O법을 이용한 MPPT 제어를 통해 태양광 발전 시스템 출력의 기준 유효전력성분을 결정하는  $P^*$ 를 구한다. 또한  $P^*$ 의 일정 비율  $K_Q$ 에 해당하는 크기를 갖는  $Q^*$ 를 계산하는데, 이는 시스템 출력의 무효전력성분 값을 결정하는 기준 파라미터가 된다.

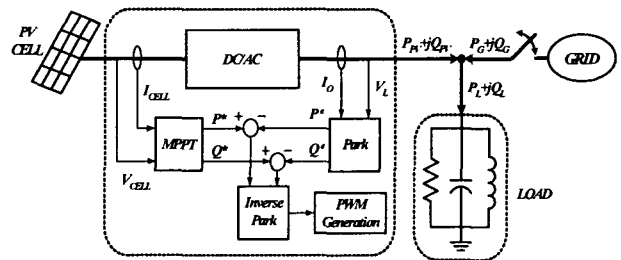


그림 3 무효전력 제어를 통한 독립운전 검출법의 개략도  
Fig. 3 A simple diagram of Anti-islanding method using reactive power control

시스템 출력단으로부터 검출된 전압 및 전류를 d-q 변환하여 현재상태의 유효전력 및 무효전력성분  $P^e, Q^e$ 를 구하고 이를 기준값  $P^*, Q^*$ 와 비교 제어함으로써 시스템내의 인버터를 구성하는 스위치의 펄스폭 변조신호를 생성한다. 따라서 출력전류  $I_o$ 는 출력전압  $V_L$ 의 위상을 기준으로,  $Q^*$ 에 해당하는 위상 지연  $\theta$ 를 갖게 된다. 위상지연  $\theta$ 로 인해 독립운전 검출이 가능하게 되는데, 이 때 기준이 되는 좌표계는 출력 전압  $V_L$ 로부터 그림 4의 알고리즘을 통해 얻어낸다. 기준 좌표계로부터  $\theta$ 의 위상차를 갖는 전류를 발생시킴으로써 그림 5에 나타낸 것과 같이 시스템 출력에 무효전력성분이 발생하게 된다.

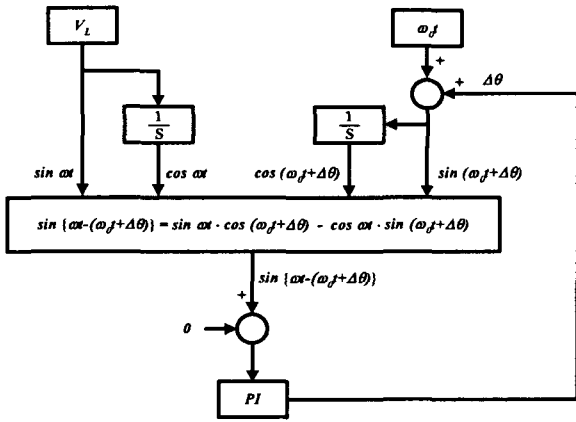


그림 4 부하 전압  $V_L$ 의 검출을 통한 기준좌표계 블록도  
 Fig. 4 The control block diagram of standard coordinate using load voltage  $V_L$

3.2 제안한 검출법의 독립운전 검출과정

출력에 무효전력성분을 지닌 태양광 인버터 출력의 전체 피상 전력은 그림 5에서와 같이 무효전력성분의 부호, 즉 진상 혹은 지상 위상의 여부에 따라 변화되는데, MPPT 제어에 의해 결정된 유효전력성분  $P_{PV}$ 는 유지되고 단지  $Q_{PV}$ 만 변화되고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같이 무효전력성분을 지닌 태양광 발전 시스템이 인버터 출력의 유효전력성분과 부하의 유효성분 크기와 동일한( $P_{PV}=P_{LOAD}$ ) 상태와 같이 검출이 어려운 비검출 영역내에서 동작하고 있을 때, 계통 차단이 발생하면 인버터 출력의 무효전력성분에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 1)  $Q_{PV} > 0$  인 경우 ( $Q_{PV}=P_{PV} \times$  비율 ( $-K_Q$ ) 크기)  
 = 그림 7의  $T_H$  구간
- 2)  $Q_{PV} < 0$  인 경우 ( $Q_{PV}=P_{PV} \times$  비율 ( $+K_Q$ ) 크기)  
 = 그림 7의  $T_L$  구간

각각의 경우에서 계통이 차단되면 독립운전 상태가 검출되는 과정을 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 부하전압  $V_L$  및 전류  $I_o$  파형이, 독립운전 상태시 주기  $T_0$ 에서 위상차  $\theta$ 에 해당하는  $\Delta t$ 만큼 주기의 증가 혹은 감소가 발생하는 것을 보여준다.

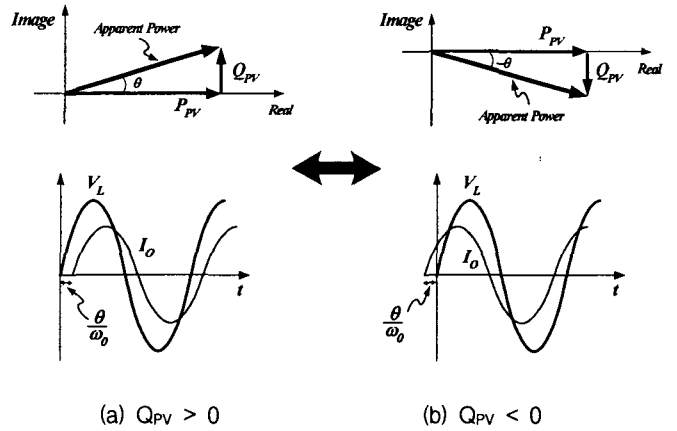


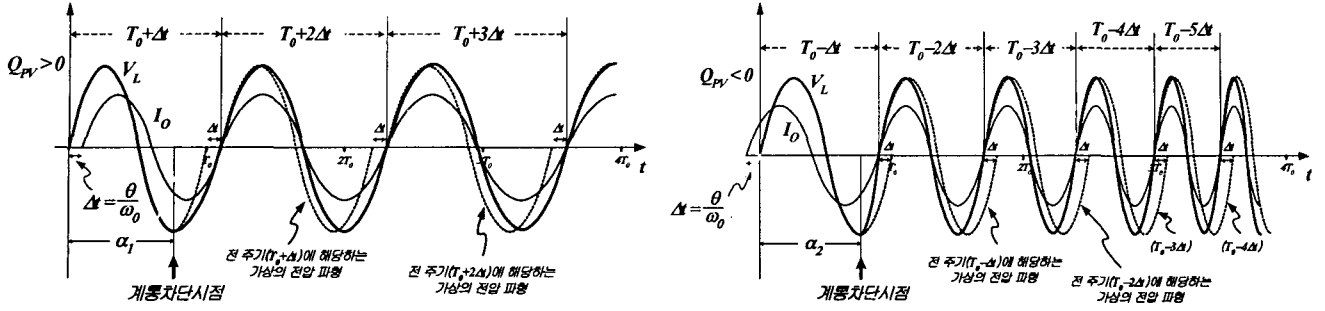
그림 5 무효전력성분에 따른 인버터 출력 전압 및 전류의 위상 변화  
 Fig. 5 Output voltage-current phase variation of an inverter by reactive power component

해석의 용이성을 위해 그림 3에서와 같이 R,L,C 성분을 모두 갖고 있는 실제 부하의 임피던스 위상을 0으로 가정하였다. 즉 부하에 저항성분만이 존재하거나 부하의 무효전력성분 0인 경우로 가정한다. L, C 성분에 의한 유도성 및 용량성 부하가 존재하더라도 식 (2)와 같이 정의된 무효전력성분이 0이 되는 조건은, 부하전압  $V_L$ 의 기본 주파수  $F_0$ 와 식 (3)의 부하공진주파수  $f_L$ 이 동일한 완전공진 상태이다.  $Q_L$ 이 0인 아닌 경우에 대한 해석은 본 논문의 후반부에서 논의하도록 한다. 또한 위상차  $\theta$ 는 매주기마다 연산되어 적용되며 제어기의 연산 지연시간 및 기계적 동작 지연시간들은 충분히 빠르다고 가정하여 무시하도록 한다.

$$Q_L = V_L^2 \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right) = V_L^2 \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \tag{2}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{3}$$

그림 6의 (a)는  $Q_{PV}$ 가 양(positive)으로 유지되는 경우로 위상차  $\theta$ 만큼 전류가 늦다. 계통이 차단되면 부하 전압  $V_L$ 은 인버터의 출력전류  $I_o$ 와 부하임피던스의 곱으로 나타나게 되는데, 부하 임피던스 위상이 0이므로  $V_L$ 과  $I_o$ 는 동상을 지니게 된다. 제안한 검출법의 알고리즘에 의하여 인버터의 출력전류  $I_o$ 는 계통차단시점 이전의  $V_L$  주기인  $T_0$ 보다 위상차  $\theta$ 에 해당하는  $\Delta t$  후에 주기가 끝나게 되므로 다음 주기의  $V_L$ 은  $(T_0 + \Delta t)$ 로 주기가 증가하게 된다. 독립운전상태 돌입 후 첫 번째 주기가 끝난 시점에서 제어기는 이전 주기  $V_L$ 의 파형을 가상으로 형성하고, 가상 전압 파형이 갖는 주기  $(T_0 + \Delta t)$ 보다  $\Delta t$ 만큼 긴 시점에서  $I_o$ 의 주기가 끝나도록 제어한다. 따라서 일시적으로  $I_o$ 의 주기는  $(T_0 + 2\Delta t)$ 로 증가하게 되고  $V_L$  또한 동일한 주기를 갖게 된다. 두 번째 주기의 종점에서 또 다시  $I_o$ 의 주기가 이전주기보다  $\Delta t$ 만큼 후에 끝나도록 제어가 되므로  $I_o$ 와  $V_L$ 의 주기는  $(T_0 + 3\Delta t)$ 로 증가한다.



(a)  $Q_{PV}$ 가 양의 값으로 유지되는 구간 - 그림 7의  $T_H$  구간  
 (a) The section maintains  $Q_{PV}$  positive,  $T_H$

(b)  $Q_{PV}$ 가 음의 값으로 유지되는 구간 - 그림 7의  $T_L$  구간  
 (b) The section maintains  $Q_{PV}$  negative,  $T_L$

그림 6 독립 운전시  $Q_{PV}$  값에 따른 부하 전압 및 인버터 출력 전류의 주기 변화  
 Fig. 6 Periodic variation of load voltage and inverter output current by reactive power component

이와 같이 매 주기가 반복될 때마다  $I_O$ 와  $V_L$ 의 주기가  $\Delta t$ 만큼 증가하게 되므로, 시간이 흐를수록 점점 주파수가 낮아지게 되고 종래에는 UFP 회로에 의해 시스템의 이상동작으로 판단되므로 태양광 발전시스템의 동작이 멈추게 된다.

따라서  $Q_{PV} > 0$  인 경우에 계통 차단시점으로부터 독립 운전 판단시까지 필요한 시간은, 계통 차단 후 증가하는  $V_L$ 의 주기가 UFP를 동작시킬만큼 크게 될 때 까지 걸리는 시간으로 구할 수 있다. 독립운전상태 돌입 후 N번째 주기에서 UFP가 동작한다고 하면, N번째 주기의 크기는 식 (4)로 구할 수 있다. 매주기는 일정한 공차  $\Delta t$ 만큼 더해지는 등차수열의 형태이므로 N번째 주기까지 걸리는 총 시간은 식 (5)로 구할 수 있다. 그림 6의 (a)에 나타낸  $\alpha_1$ 은 첫 주기내에서 계통 차단이 이루어진 시점까지의 시간으로, 상황에 따라  $0 \sim T_0$  내의 값을 지닌 유향적인 시간으로 이론적 해석시 무시하는 것으로 한다.

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= T_0 + \Delta t \\ T_2 &= T_0 + 2\Delta t \\ T_3 &= T_0 + 3\Delta t \\ &\vdots \end{aligned} \right\} T_N = T_0 + N \times \Delta t \quad (4)$$

$$\begin{aligned} T_{Total} &= T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N = \sum_{n=1}^N T_n = \sum_{n=1}^N (T_0 + n \times \Delta t) \\ &= \frac{N}{2} (T_1 + T_N) = \frac{N}{2} \{ 2T_0 + (N+1) \times \Delta t \} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\Delta t = \frac{\theta}{\omega_0} = \frac{\theta}{2\pi F_0}$$

이다. 부하전압  $V_L$ 의 기본 주파수를  $F_0$ , UFP에 의해 설정된 최저허용주파수를  $F_{MIN}$ , N번째 주기에서 주파수가  $F_{MIN}$ 에 도달한다고 할 때, 식 (4)와 식 (5)로부터 독립운전 상태가 검출될 때 까지 필요한 주기의 횟수는 식 (7)과 같고, 따라서 총 시간  $T_{Total}$ 은 식 (8)로 계산되어 진다.

$$T_{MIN} = \frac{1}{F_{MIN}} = T_0 + N \times \Delta t = \frac{1}{F_0} \left( 1 + N \times \frac{\theta}{2\pi} \right) \quad (6)$$

$$N = \frac{2\pi}{\theta} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} T_{Total} &= \frac{1}{2} \times \frac{2\pi}{\theta} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) \times \left[ \frac{2}{F_0} + \left\{ \frac{2\pi}{\theta} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) + 1 \right\} \times \frac{\theta}{2\pi F_0} \right] \\ &= \frac{\pi}{\theta} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) \times \left\{ \frac{2}{F_0} + \frac{1}{F_0} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) + \frac{\theta}{2\pi F_0} \right\} \\ &= \frac{\pi}{\theta} \times \left( \frac{F_0}{F_{MIN}} - 1 \right) \times \left\{ \frac{1}{F_0} + \frac{1}{F_{MIN}} + \frac{\theta}{2\pi F_0} \right\} \quad [s] \end{aligned} \quad (8)$$

이 결과로부터, 제안한 알고리즘이  $Q_{PV} > 0$  인 경우, 계통이 차단되면 독립운전상태를 검출하여 발전시스템이 정지될 때까지 요구되는 시간을 구할 수 있다. 또한 역으로 관련규정에 의해 검출요구시간이 정해진 경우, UFP의  $F_{MIN}$  값과  $\theta$ 를 선정하는 참고 수식이 된다.

$Q_{PV} < 0$  인 그림 6의 (b) 경우에서도 이와 유사하게 해석이 가능하다. (b)는 음(negative)의  $Q_{PV}$ 가 인버터 출력에 포함된 경우로서 위상차  $\theta$ 만큼 전류  $I_O$ 가 빠르다. 계통이 차단된 시점으로부터 부하전압  $V_L$ 은 전류  $I_O$ 와 동상을 이루게 되나 제안한 알고리즘에 의하여 위상차  $\theta$ 가 발생하도록 제어된다. 따라서 매주기마다  $\Delta t$ 만큼 주기가 짧아지게 되어 M번째 주기에서는 식 (9)와 같은 주기를 갖게 된다. 시간이 흐를수록 점점 주기는 짧아지고 종래에는 OFP 회로에 의해 시스템 이상동작으로 판단되는 최대허용주파수까지 증가하게 된다. OFP 회로에 의해 독립운전상태가 검출되면 태양광 발전 시스템은 동작을 멈추게 된다.

그림 6의 (a)에서와 동일하게 독립운전 판단시까지 필요한 시간을 이론적으로 구하면 식 (10)과 같다. 독립운전 상태 돌입 후 M번째 주기에서 OFP 회로가 동작하는 것으로 가정하였다. OFP 회로가 동작하는 최고허용주파수는  $F_{MAX}$ 이고 계통 차단 시점까지의 시간  $\alpha_2$ 은  $0 \sim T_0$  내의 값으로 해석시 무시하였다.

식 (11)은  $F_{MAX}$ 를 이용하여 OFP가 동작될 때까지의 주기 횟수 M을 구한 것으로 식 (10)에 대입하여 정리함으로써,

$Q_{PV} < 0$  인 경우에 계통이 차단되면 독립운전상태를 검출하여 발전시스템이 정지될 때까지 요구되는 시간을 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} T'_1 &= T_0 - \Delta t \\ T'_2 &= T_0 - 2\Delta t \\ T'_3 &= T_0 - 3\Delta t \\ &\vdots \end{aligned} \right\} T'_M = T_0 - M \times \Delta t \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T'_{Total} &= T'_1 + T'_2 + T'_3 + \dots + T'_M = \sum_{m=1}^M T'_m = \sum_{m=1}^M (T_0 - m \times \Delta t) \\ &= \frac{M}{2} (T'_1 + T'_M) = \frac{M}{2} \{2T_0 - (M+1) \times \Delta t\} \end{aligned} \quad (10)$$

$$M = \frac{2\pi}{\theta} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} T'_{Total} &= \frac{1}{2} \times \frac{2\pi}{\theta} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) \times \left[ \frac{2}{F_0} - \left\{ \frac{2\pi}{\theta} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) + 1 \right\} \times \frac{\theta}{2\pi F_0} \right] \\ &= \frac{\pi}{\theta} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) \times \left\{ \frac{2}{F_0} - \frac{1}{F_0} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) - \frac{\theta}{2\pi F_0} \right\} \\ &= \frac{\pi}{\theta} \times \left(1 - \frac{F_0}{F_{MAX}}\right) \times \left\{ \frac{1}{F_0} + \frac{1}{F_{MAX}} - \frac{\theta}{2\pi F_0} \right\} \quad [s] \end{aligned} \quad (12)$$

제안한 알고리즘의 유용성 확인을 위하여 실제 실험시 적용된 다음 파라미터들을 위 식들에 대입함으로써, 각각의 경우 독립운전 검출시까지 이론적 요구시간을 식 (16)과 식 (17)에서 계산하였다.

- 정상상태시  $V_L$ 의 기본주파수  $F_0=60\text{Hz}$
- 최저허용주파수  $F_{MIN}=59.3\text{ Hz}$
- 최고허용주파수  $F_{MAX}=60.5\text{Hz}$
- $|Q_{PV}|=P_{PV}$  크기의 2.5%

먼저 위상차  $\theta$ , 각 경우에서의 주기 횟수  $N$ 과  $M$ 을 계산하면 식 (13), 식 (14), 식 (15)와 같다. 이 때  $N$ 과  $M$ 은  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  등이 무시된 값으로 계산된 결과의 근사 정수값으로 선정한다.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Q_{PV}}{P_{PV}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{2.5}{100} \right) = 1.432^\circ = 0.025 \text{ [rad]} \quad (13)$$

$$N = \frac{2\pi}{0.025} \times \left( \frac{60}{59.3} - 1 \right) = 2.967 \approx 3 \quad (14)$$

$$M = \frac{2\pi}{0.025} \times \left( 1 - \frac{60}{60.5} \right) = 2.077 \approx 2 \quad (15)$$

$$T'_{Total} = \frac{3}{2} \left\{ 2 \times \frac{1}{60} + (3+1) \times \frac{0.025}{2\pi \times 60} \right\} = 53.978 \approx 54 \text{ [ms]} \quad (16)$$

$$T'_{Total} = \frac{2}{2} \left\{ 2 \times \frac{1}{60} - (2+1) \times \frac{0.025}{2\pi \times 60} \right\} \approx 33.13 \text{ [ms]} \quad (17)$$

위의 결과는 제안한 무효전력 제어를 통한 독립운전 상태 검출법이 매우 유용적임을 보여준다. 이론적 해석으로부터 그림 6의 (a)의 경우는 계통차단시점으로부터 54[ms], (b)의 경우는 33.13[ms] 이후에 UFP 및 OFP회로의 동작으로 인하여 독립운전상태가 검출됨을 알 수 있다. 그러나 이 결과는 시스템 제어기로 사용된 디지털 제어기의 연산 지연시간, 인버터 스위치의 물리적 동작 지연시간, 기계적 스위치 지연시간 등을 고려하지 않은 값으로 다소 오차가 있다고 할 수 있다. 또한 차단시의 부하조건, 무효전력성분의 변화 양상 등에 따라 다소 변화가 있을 수 있다.

본 논문에서 제안한 기법의 유용성 확인을 위해 실시한 실험 결과와 비교할 때, 실제적으로 독립운전 검출 후 시스템 정지까지의 지연시간은 이론과 약 5~8배 가량 차이가 발생하였다. 그러나 이러한 기계적, 물리적 지연시간을 최소화 한다면 신속하면서도 정확한 독립운전상태 검출이 가능함을 보여준다고 할 수 있다. 게다가 최근 빠른 연산처리능력을 지닌 디지털 제어기의 등장으로 매 주기의 종점에서  $\theta$ 를 적용하지 않고 순시 값에 적용이 가능해짐에 따라 이론적 해석 시간도 감소할 것으로 기대된다.

### 3.3 무효성분을 갖는 부하에서의 독립운전 검출과정

지금까지 그림 6의  $Q_{PV} > 0$  인 경우와  $Q_{PV} < 0$  인 경우에서 검출요구시간에 대해 해석하여 보았다. 해석의 용이성을 위하여 시스템의 부하가 저항성분만 있거나 무효전력성분  $Q_L$ 이 0인 경우로 가정하였다. 그러나 실제 시스템은 저항성분 부하 혹은 완전공진형의 부하가 아닌 무효성분이 존재하는 경우가 대부분이다. 따라서  $Q_L \neq 0$  인 경우에서의 동작도 살펴보아야 할 필요가 있으며 또한 제안한 기법의 유용성도 확인하여야 한다.

태양광 인버터의 출력에 무효전력성분이 포함되어 있으면 계통차단으로 인한 독립운전시 부하상태에 따라 표 1과 같은 A~F 경우가 발생한다. 각각의 경우는 독립적으로 발생하거나 유효성분에 관련된 A~C, 무효성분에 따른 D~F 경우가 동시에 발생할 수 있으므로 실제적인 전체 경우의 수는 9가지가 될 수 있다. 이 중 A, B, D, E의 경우는, 시스템 제어기에 포함되는 OVP/UVP 및 OFP/UFP 회로를 이용하여 검출이 가능할 정도의 차이를 보인다면 기존의 수동적인 방법만을 이용하더라도 독립운전 검출은 충분히 가능하다. 그러나 A, B, D, E의 경우라 하더라도 인버터 출력과 부하의 유효 및 무효전력성분의 차이가 미약하여 독립운전상태가 되어도 부하전압의 크기나 위상변화가 미미한 경우는 독립운전 검출이 어렵다. 특히 C나 F와 같이 인버터 출력과 부하의 유효 및 무효전력성분이 동일한 경우 기존의 수동적 방법으로는 검출이 어렵다. 따라서 능동적인 방법을 이용하여 비검출 영역을 최소화 시켜야한다.

본 논문에서도 무효전력제어를 통한 능동적 방법을 제안하였다. 그러나 그림 6의 (a)와 같이  $Q_{PV} > 0$  이며 크기가  $|P_{PV}| = |P_L|$ ,  $|Q_{PV}| = |Q_L|$ 인 상태에서 동작하고 있었다면, 독립운전상태인 계통 차단시점 이후라 하더라도 부하 전압

$V_L$ 과 인버터 출력전류  $I_0$ 는 위상차  $\theta$ 를 그대로 유지하게 되어 주기의 변화가 발생하지 않으므로, UFP/OFP를 이용한 독립운전 검출이 불가능해진다. 따라서 독립운전시 부하의 무효전력성분과 인버터 출력의 무효전력성분이 같아지지 않도록 하여야 한다. 이를 위해서 인버터 출력의 무효전력성분은 변동이 되어야하며 제한한 검출법 또한 일정 시간마다 무효전력성분의 부호를 바꾸어 줌으로써 그림 7과 같은 주기적인 변화가 발생하도록 하였다.

표 1 독립운전시 인버터 출력과 부하의 유효 및 무효전력성분 비교

Table 1 The comparison of inverter output and load power component

case		비 교 내 용	
A	유효 성분 비교	$P_{PV} < P_L$	UVP 에 의해 대부분 검출 가능
B		$P_{PV} > P_L$	OVP 에 의해 대부분 검출 가능
C		$P_{PV} = P_L$	OVP/UVP 검출 불가능
D	무효 성분 비교	$Q_{PV} < Q_L$	OFP 에 의해 대부분 검출 가능
E		$Q_{PV} > Q_L$	UFP 에 의해 대부분 검출 가능
F		$Q_{PV} = Q_L$	OFP/UVP 검출 불가능

표 1의 F 경우인  $Q_{PV} = Q_L$  상태로 독립운전상태에서도 위상차  $\theta$ 가 유지되어 그림 6 (a)나 (b)와 같은 주기의 변화가 발생하지 않는 경우, 혹은 표 1의 D와 E경우에서처럼  $Q_{PV} \neq Q_L$  인 상태임에도 둘의 값이 비슷하여 독립운전시 미미한 주기변화만이 존재하게 됨으로써 독립운전상태를 검출할 수 있는 주파수  $F_{MIN}$ 이나  $F_{MAX}$ 까지 도달시간이 긴 경우는 그림 7과 같은 인버터 출력의 무효출력  $Q_{PV}$ 를 주기적으로 변화시켜 음과 양의 값을 번갈아 갖도록 하였다. 따라서 양의  $Q_{PV}$ 에서  $Q_{PV} = Q_L$  이 되었거나  $Q_{PV} \neq Q_L$  임에도 그 차이가 미미하여 독립운전 검출이 어려웠다 하더라도, 주기적인 변동에 의해  $Q_{PV}$ 가 음의 값으로 변화되면  $Q_{PV} \neq Q_L$  이며 차이 또한 크게 되므로 신속한 독립운전 검출이 가능해진다. 제한한 독립운전 검출법은  $Q_{PV}$ 가 양에서 음 혹은 음에서 양으로 변화되는 상황에서 가장 긴 독립운전 검출 요구시간을 갖게 된다. 이론적 해석의 용이성을 위한 조건을 가정해보면 다음과 같다.

- 양의  $Q_{PV}$ 가 유지되고 있는 상황이라도 UFP를 동작시킬 최저허용주파수  $F_{MIN}$ 에 도달하지 못했다.
- UFP 회로가 동작하기 전에  $Q_{PV}$  값이 음으로 변화되어 증가했던 전압  $V_L$ 의 주기는 감소하게 된다.
- 부하는 무효성분이 0인 저항성분만 가진 것으로 가정한다.
- 음의  $Q_{PV}$ 는 OFP를 동작시킬 시간까지 충분히 유지되고 있다.
- 그림 6의 (a), (b) 상황을 해석함에 있어 적용되었던 최고, 최저 주파수 조건을 동일하게 사용한다.

식 (16)과 식 (17)의 결과에서 UFP 회로 동작까지 요구되는 시간이 길었던 것을 감안하여 양의  $Q_{PV}$ 에서 시작하는 것으로 하였다. 또한 저항성분만을 고려한 해석과 부하의 무효전력성분  $Q_L$ 를 고려한 해석의 차이는 부하 임피던스 위상에 해당하는 만큼 위상이동 된 특성을 보이는 것 이외에 큰 특성은 없다. 부하 임피던스 위상을  $\phi$  라고 한다면  $\phi = \theta$  인 상태에서 독립운전 검출이 어려우나, 인버터 출력의 무효전력성분이 주기적으로 변화하게 되므로 일정시간 이후에 인버터 출력의 위상차  $\theta = -\phi$  가 되어 독립운전 검출이 가능해진다. 또한  $\phi \neq \theta$  이고  $\phi$  가 큰 경우에는 독립운전시 부하 전압의 위상변동이 크게 발생하여 그림 (8)과 같은 경우보다 짧은 시간에 독립운전 검출이 가능하다. 다만 무효성분의 부호가 바뀐 후 UFP나 OFP에 의해 검출되기 직전 다시 부하가 바뀌게 되면 독립운전 검출은 불가능해진다. 따라서 인버터 무효출력성분  $Q_{PV}$ 의 변화 주기는 가장 최악의 경우에서도 UFP나 OFP 중 하나를 동작시킬 수 있을 만큼의 시간을 고려하여  $T_H$ 와  $T_L$ 를 선정하여야 한다. 또한 변화되는 과정  $T_T$ 는 독립운전 검출 시간을 최소화시키기 위하여 가능한 짧을수록 좋다. 그러나 급격한 무효전력변화는 시스템과 계통에 문제를 발생시킬 수 있으므로 시스템 성능을 고려하여  $T_T$ 를 선정한다.

그림 8은 독립운전상태에서 인버터의 무효출력성분이 변화함에 따라 부하전압  $V_L$ 과 인버터 출력전류  $I_0$ 의 위상차 및 주기가 변화하는 과정을 보여준다. 계통 차단시점으로부터 N번째 주기가 되었음에도 UFP를 동작시킬 정도로 주파수가 낮아지지 않은 상태에서  $Q_{PV}$  값이 음으로 변화되었다. 따라서 주파수는 다시 증가하게 되고 M번째 주기가 되어야 OFP 회로를 동작시킬 정도로 큰 주파수가 되었다고 가정한다. OFP 회로의 동작으로 독립운전상태가 검출될 때까지 요구되는 이론적 시간은 다음과 같다.

$$T_H = T_0 + N \times \Delta t \quad : Q_{PV} > 0 \tag{18}$$

$$T_L = T_x - M \times \Delta t \quad : Q_{PV} < 0 \tag{19}$$

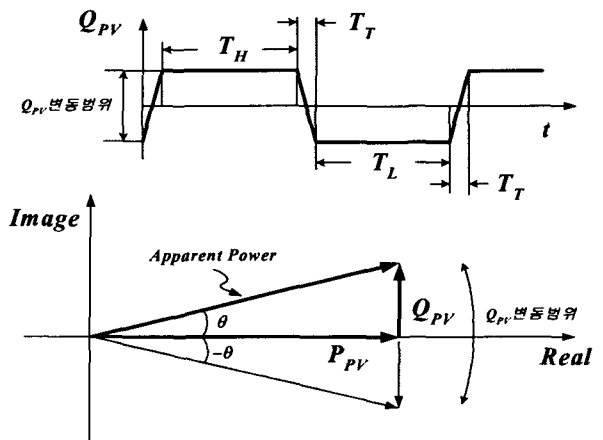


그림 7 주기적인 무효전력성분 변화에 따른 출력 변화  
Fig. 7 A change of output power by periodic variation of reactive power component

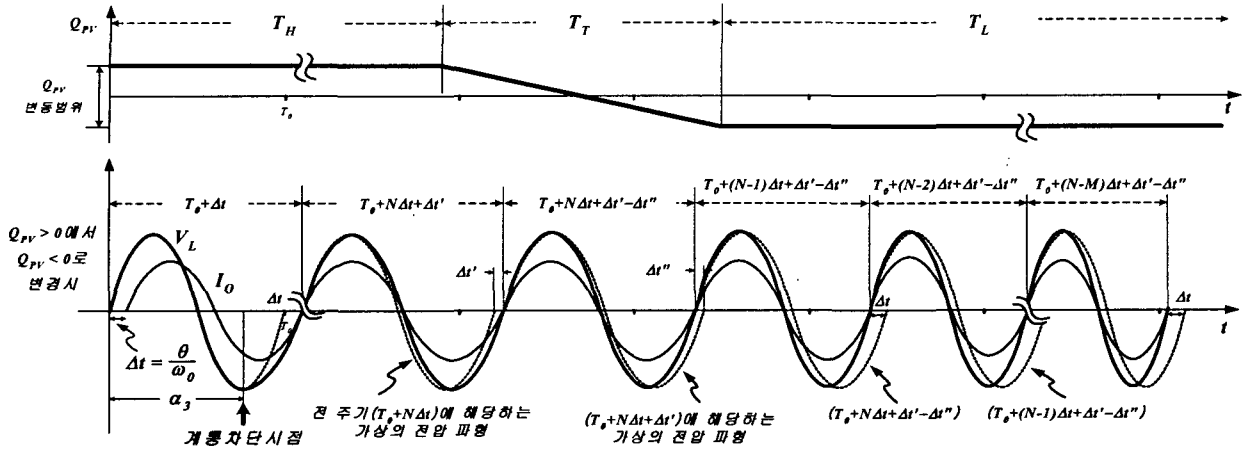


그림 8  $Q_{PV}$ 의 부호 변동시 부하 전압  $V_L$  및 인버터 출력 전류  $I_o$ 의 위상 변화  
 Fig. 8 A phase variation of inverter output current  $I_o$  and load voltage  $V_L$  by  $Q_{PV}$  sign

여기서

$$T_X = T_0 + N \times \Delta t + \Delta t' - \Delta t''$$

이다. 따라서  $T_H$ ,  $T_T$ ,  $T_L$  각각 구간에서의 시간을 구하면 다음과 같다

$$T_{H-total} = \frac{N}{2} \{ 2T_0 + (N+1) \times \Delta t \} \quad (20)$$

$$T_{L-total} = \frac{M}{2} \{ 2T_X - (M+1) \times \Delta t \} \quad (21)$$

$$T_T = kT_X + \Delta t' : Q_{PV} > 0 \Leftrightarrow Q_{PV} < 0 \quad (22)$$

$k = T_T$  구간내 주기 수

$\Delta t'' = T_T$  구간에 있을 때, 주기가 짧아지는 시점에서의 위상 변위

최종적으로 각 구간에서의 시간을 모두 더하면  $Q_{PV}$  값이 양에서 음으로 변경되는 경우 소요되는 독립운전 검출시간이 된다. 그 값의 크기는 대략 그림 6의 (a)와 (b)의 경우 각각 요구되는 검출시간의 합보다 크다. 그러나 변화되는 구간  $T_T$ 를 줄여  $T_T$  구간내에서 발생하는  $\Delta\theta'$  과  $\Delta\theta''$  값을 작게 줄이면 (a)와 (b)의 각 요구시간 합과 비슷하게 된다. 따라서  $T_T$  구간은 짧을수록 좋고 또한 구간  $T_H$ ,  $T_L$  은 OFF와 UFP에 의해 독립운전상태가 검출될 때까지 충분한 여유가 있어야 하므로, 대략적으로 그림 6의 (a)와 (b)의 검출시까지 요구되는 시간보다 2배 이상으로 설정하는 것이 타당하다.

지금까지 논의된 무효성분의 공급 및 주기적 변화를 적용한 무효전력제어를 통한 독립운전 검출법의 구현을 위해 그림 9와 같이 알고리즘 블록도를 수정하여 나타내었다. MPPT 블록이 인버터 출력의 유효전력성분을 결정하는  $I_p^*$ 를 도출해낸다. 그리고 유효전력성분의  $K_Q$  비율에 해당하는 무효전력성분  $Q^*$ 와 관련된 블록에서는  $Q_{PV}$ 의 부호(진상, 지상 위상 결정)와 유지시간( $T_H$ ,  $T_L$ ,  $T_T$  시간)을 결정한다. 출력으로 검출된  $V_L$ 로부터 PLL 블록을 통과시킴으로써 전압

$V_L$ 의 위상을 기준좌표계로 선정한다. 또한 출력 전류  $I_o$ 를 기준좌표계로 d-q 변환하여 현재상태의 유효 및 무효전력성분을 도출하고 각각의 지령값과 비교 제어함으로써 PWM이 발생됨을 확인 할 수 있다. 따라서 부하에 무효전력성분이 존재하더라도 수정된 알고리즘에 의해 독립운전 검출이 가능하다.

### 3.4 인버터 출력의 무효전력성분이 역률에 미치는 영향

태양광 발전용 인버터가 무효전력성분  $Q_{PV}$ 를 가짐으로써 계통에 발생하는 가장 큰 영향은 역률의 변화를 들 수 있다. 유효전력성분  $P_{PV}$ 의  $\pm K_Q$  비율에 해당하는 값만큼 무효전력성분이 발생됨으로써, 종래의 1을 갖는 인버터 출력역률이 저하되게 된다. 무효전력성분이 포함된 인버터 출력역률은 식 (23)에 의해 계산된다.

$$PF = \cos \left\{ \tan^{-1} \left( \left| \frac{Q_{PV}}{P_{PV}} \right| \right) \right\} = \cos \left( \tan^{-1} |K_Q| \right) \quad (23)$$

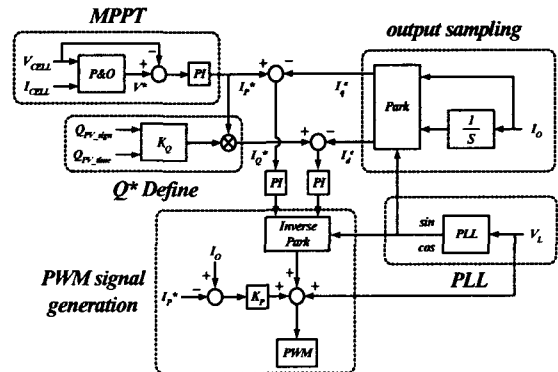


그림 9 주기적인  $Q_{PV}$  변화가 적용된 무효전력제어를 통한 독립운전 검출법 알고리즘 블록도

Fig. 9 A algorithm of Anti-islanding method by reactive power control applied the periodic variation of  $Q_{PV}$

제안한 검출법의 유용성을 확인하기 위하여 실시한 실험에서는 무효전력성분  $Q_{PV}$ 를 유효성분  $P_{PV}$ 의  $\pm 2.5\%$ 로 설정하였다. 계통이 연결된 정상상태시 역률이 가장 낮아지는 경우는 부하전력을 모두 인버터가 담당하여 공급하는 경우로서, 이때 부하역률은 다음과 같이 계산된다.

$$PF = \cos \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{2.5}{100} \right) \right\} = 0.99968 \quad (24)$$

식 (24)의 결과에서 알 수 있듯이 무효전력성분이 단지 2.5%로 미소하기 때문에 역률은 거의 1이 되고, 부하 요구 전력이 인버터 출력전력보다 작거나 혹은 반대의 경우 무효전력성분의 주기적 변화에 의한 역률변화가 계통에 영향을 미치게 되지만 계통은 낮은 임피던스를 갖는 무한부하로 고려되기 때문에 실제적으로 계통의 역률변화는 무효전력성분이 없는 경우와 별 차이가 없다. 또한 인버터 출력의 무효전력성분이 부하 무효전력성분과 동일하여 무효전력성분은 모두 인버터가 담당하는 경우, 계통은 무효전력성분 공급이 불필요해지기 때문에 오히려 계통 역률은 증가하게 된다. 그러나 이 영향 또한 미미하여 전체적으로 볼 때 시스템 출력의 무효전력성분이 미소한 경우 계통에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다.

#### 4. 실험결과

무효전력 제어를 통한 독립운전 검출법의 유용성을 증명하기 위하여 3kW급의 태양광 발전 시스템을 구성하였다. 그림 10은 인버터 출력단에서 측정된 전압·전류의 파형으로써 무효성분이 포함되어 있음에도 역률이 거의 1인 상태로 출력됨을 보여준다.

그림 11은 인버터 출력의 무효전력성분 변화에 따라 출력 전압과 전류에 위상차가 발생함을 보여주는 그림이다. 미소한 위상차  $\theta$ 을 확인하기 위하여 출력 전압  $V_L$ 을 확대하였다. (a)는 무효전력성분  $Q_{PV}=0$ 인 경우로서  $Q_{PV}$ 가 양의 값으로 증가함에 따라 (b)와 같이 위상차가 발생하게 된다. 그러나 발생한 위상차는 미소한 값으로 식 (24)에서 계산한 바와 같이 출력 역률에 미치는 영향은 미미하다.

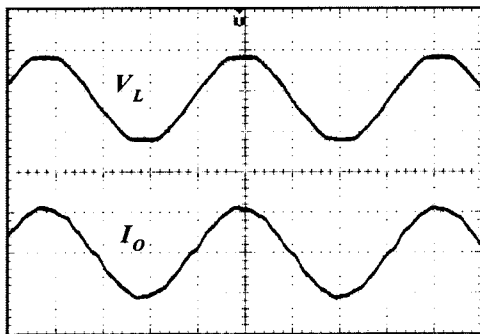
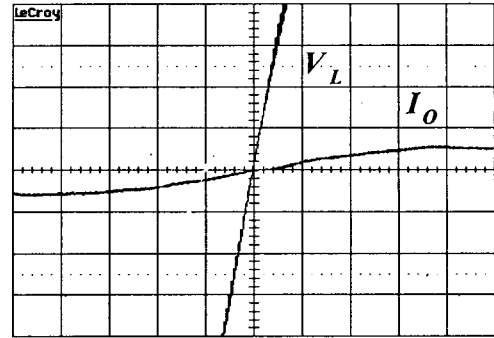
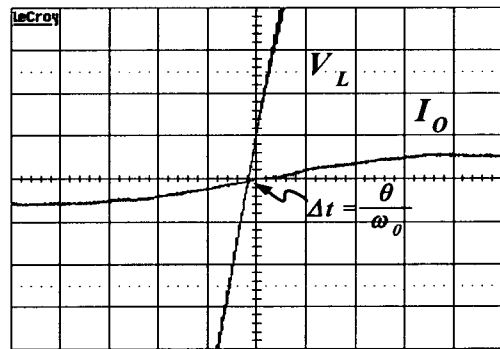


그림 10 태양광 발전용 인버터의 출력 전압·전류  
 Fig. 10 Output voltage and output current of inverter for photovoltaic generation system  
 ( $V_L=300V/Div$ ,  $I_o=10A/Div$ ,  $4ms/Div$ )



(a) 무효전력성분  $Q_{PV}=0$  일 때  
 (a) reactive power component  $Q_{PV} = 0$



(b) 무효전력성분  $Q_{PV} > 0$  일 때  
 (b) reactive power component  $Q_{PV} > 0$

그림 11 인버터 출력의 무효전력성분 제어에 따른 위상차 변화

Fig. 11 The phase variation by reactive power component control ( $V_L=10V/Div$ ,  $I_o=20A/Div$ ,  $1ms/Div$ )

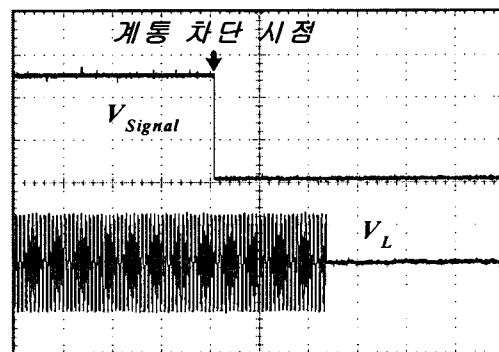


그림 12 계통 차단시 태양광 발전 시스템의 출력 전압 파형  
 Fig. 12 Output voltage waveform of photovoltaic generation system when the utility grid is removed  
 ( $V_{Signal}=2V/Div$ ,  $V_L=300V/Div$ ,  $200ms/Div$ )

계통 차단시 제안한 알고리즘이 적용된 3kW급 인버터의 출력 변화를 그림 12에 나타내었다. 그림 상단의 파형은 실험의 용이성을 위해 설계한 계통 연계 차단 신호  $V_{Signal}$ 을 의미하며, 그림 12는 제작한 인버터가 계통차단시 약



500[ms] 이내에 독립운전상태를 검출, 제어기를 통한 태양광 발전 시스템 멈춤 동작까지 이루어짐을 보여준다. 측정은  $T_H, T_L=0.5[s], T_T=0.05[s]$  로 설정된 무효전력성분 변동주기에서 이루어졌으며, 원활한 실험을 위하여 부하는 약 25.1Ω 의 저항성분만으로 구성하여 부하 전압 전류의 위상차 발생을 최소화 하였다. 결과에서 알 수 있듯이 제어기에서의 연산지연 및 스위치들에서 발생하는 지연시간에 의해 실제 동작시는 이론적 해석에 따른 검출 요구시간보다 긴 시간이 필요하나 이 결과는 태양광 발전 시스템에 관련 국내 규격에 명시된 검출 지연시간 1[s] 이내의 값으로 신속한 독립운전 검출이 이루어졌음을 의미한다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 계통과의 차단으로 인하여 태양광 발전 시스템이 독립운전상태가 될 때, 이를 검출하는 무효전력성분을 이용한 새로운 방법을 제안 하였다. 제안한 방법은 인버터 출력의 유효전력성분은 MPPT 제어에 의해 일정하게 유지하며 단지 무효전력성분만을 일정주기로 미소변동 시켜줌으로써 인버터 출력 전압·전류의 위상차를 발생시키고 계통차단시 위상차로 인한 부하 전압 및 전류의 주파수의 변화가 유도되도록 하였다. 이 주파수 변화를 검출하여 독립운전 상태를 판단하고 빠른 시간내에 계통과의 연계가 차단되도록 하였다. 인버터 출력에 무효전력성분이 포함됨으로써 계통에 미치게 되는 영향을 최소화하기 위하여 유효전력성분에 대한 미소한 비율로 무효전력성분 크기를 제한하였고 이로 인한 출력의 역률변화는 거의 발생하지 않음을 이론적 해석 및 실험 결과를 통해 증명하였다. 또한 실제 제작한 3kW급 태양광 인버터의 제어기에 제안한 알고리즘을 적용하여 그 실험결과로부터 계통 차단시 신속한 독립운전 상태 검출이 이루어짐을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 장성일, "분산 전원의 고립 운전 검출 기법의 개발", 대한 전기학회, 50A권 11호, pp 506~513, 2001.
- [2] 유권중, "60Hz 절연변압기가 없는 고주파링크 방식 계통연계형 태양광발전시스템 고찰", 전력전자공학회 논문지, 7권 6호, pp, 563~569, 2002.
- [3] Woyte. A., Belmans. R., Njis. J., "Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters", Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, Volume: 4 , 13-17 July 2003
- [4] 황진수, "분산형전원이 도입된 배전계통에 대한 Islanding Detection Method", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 522~524, 2000.
- [5] S. Agematsu, S. Imai, "Islanding Detection System With Active and Reactive Power Balancing Control for Tokyo Metropolitan Power System and Actual Operational Experiences", IEE Developments in Power Protection Conference, No.479, pp 351~354, 2001.

- [6] M.E. Ropp, "Analysis and Performance Assessment Of the Active Frequency Drift Method Of Islanding Prevention", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp, 811~816, 1999.

## 저 자 소 개



### 정진범(鄭鎭範)

1976년 4월 20일생. 2001년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 2003년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사). 현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정.

Tel : 031-406-2325

Fax : 031-400-3799

E-mail : talkmania@ihanyang.ac.kr



### 최봉주(崔鳳柱)

1976년 11월 08일생. 2003년 한양대학교 전자전기제어공학부 졸업(학사). 2005년 동 대학원 전자전기제어공학과 졸업(석사). 현재 (주)윌링스 연구원.

E-mail : muckbo@willings.co.kr



### 김희준(金熙峻)

1976년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 3월 일본 규슈대 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987년~현재 한양대학교 전자·컴퓨터 공학부 교수. 1991년~1992년 미국 버지니아 공대 방문교수.

E-mail : hjkim@hanyang.ac.kr



### 안강순(安康淳)

1969년 06월 07일생. 1995년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)윌링스 대표.

E-mail : ksahn@willings.co.kr