

단독운전방지를 위한 능동 방식 중 AFD 및 RPV에 대한 특성해석

崔圭夏[†], 바이스갈랑^{*}, 李永鎭^{**}, 韓棟華^{**}, 鄭炳煥^{***}, 金洪聖[§]

Characteristics Analysis of RPV and AFD for Anti-Islanding in Active Method

Gyu-Ha Choe, Bayasgalan D, Young-Jin Lee, Dong-Ha Han,
Byong-Hwan Jeong and Hong-Sung Kim

요 약

계통연계형 분산전원 시스템의 제어 기술 중에 전기적 안전성을 확보하기 위해 계통의 이상을 검출하여 분산전원을 분리 시켜야 하며 PCS의 이러한 기능을 단독운전 방지라고 불린다. 수동적인 기법으로는 단독운전시에 전력생산량과 부하 요구량이 일치할 경우 연계점의 전압 및 주파수 특성이 변하지 않으므로 검출하지 못하게 되는 상황이 발생하나, 능동 방식 중 현재 널리 사용되고 있는 AFD와 RPV 방식에서는 인버터 전류제어를 통해 미소한 왜곡을 주입하여 전력평형상태에서도 단독운전시에 연계점 전압의 주파수를 변동시켜 단독운전검출이 가능하다. 이 두 방식은 기준신호에 주입하는 왜곡형태가 서로 다르지만 이로 인해서 무효 전력성분이 발생한다는 측면에서는 두 방식이 같다고 볼 수 있으며, 무효전력 성분의 비율을 같도록 설계하면 같은 양의 주파수 변동이 생긴다. IEEE 929-2000 조건하에서 해석 및 실험을 통하여 제안된 해석방식 및 설계법의 타당성 그리고 두 방식의 연관성 등을 검증하였으며, 계통연계시 신뢰도 측면에서 어느 방식이 더 우수한지를 밝혀 향후 단독운전방지를 위한 적합한 방식을 제시하도록 하였다.

ABSTRACT

To detect islanding mode when the grid is being tripped is a major safety issue in the Utility Interactive Photo Voltaic (UIPV) system. In this paper, analytical design method is suggested for AFD & RPV method under IEEE 929-2000 recommended islanding test condition. We have discussed that there is a same point. we injected reactive component of the current by AFD & RPV methods, but the current reference generated is other waveform. Possible if amount of reactive components in this methods are same each method, there is happened same rates frequency variation. To verify the validity of the analytical comparison, this paper presents simulation and experimental results from single phase, 3[kW] inverter for the transformerless UIPV system.

Key Words : Active Frequency Drift(AFD), Reactive Power Variation(RPV), Anti-Islanding, Active method

1. 서 론

최근 유가 강세가 지속되면서 국가 에너지 위기론이 재부상하고 있어, 미래 지향적인 측면으로 볼 때 정부 차원의 본격적인 수소 연료전지, 태양광, 풍력발전 등의 신재생 에너지 개발이 필수적인 상황이 되었다. 신재생에너지를 현재까지 사용하던 방식은 독립형과

[†]교신저자 : 정희원, 건국대 전기공학과 교수

E-mail : ghchoe@konkuk.ac.kr

^{*}정희원, 건국대 전기공학과 박사과정

^{**}학생회원, 건국대 전기공학과 석사과정

^{***}정희원, 삼성 탈레스 전문연구원

[§]정희원, 한빛 EDS 연구소장

접수일자 : 2008. 12. 12

1차 심사 : 2009. 1. 23

2차 심사 : 2009. 2. 25

심사완료 : 2009. 3. 10

계통연계형 2가지로 분리되며 독립형 발전시스템은 무인 중계소, 무인등대, 인공위성, 도서 및 산간지역등 전력공급이 원활하지 못한 지역의 특수 전원용으로 다수 사용되고 있다. 계통연계형 분산전원은 주택용 전원이거나 대용량 발전소에 적용 가능한 시스템으로, 발전 시스템의 출력이 부하가 요구하는 전력보다 클 경우 잉여전력을 계통에 공급하고, 반대로 시스템에서 발생된 전력이 부하 요구량보다 적은 경우에는 부족분을 계통으로부터 공급 받을 수 있다는 장점을 지닌다. 특히 태양광 어레이에서 나온 출력은 주변 온도 및 일사량에 따라서 비선형적 특성을 가지고 있으며 이를 계통과 연계하기 위해서 일정한 직류링크 전압을 만들어주는 DC/DC 컨버터 및 이를 교류로 변환시키는 인버터가 유고된다. 그림1은 계통연계형 태양광발전시스템 구성도이며, 분산전원과 계통간의 전력 흐름을 보여준다.

분산전원형 발전 시스템을 계통과 연계하여 운전하기 위해서는 다른 수용가에 장애를 주지 않으며, 전압 변동 범위, 고조파 억제, 역률 개선, 직류성분 제거, 단독운전 방지, 과도현상 보호 등 기술적 문제점들을 해결해야 하며, 태양광어레이에서 최대효율을 얻기 위해서 MPPT알고리즘을 탑재해야한다.^[1]

본 논문에서는 계통연계형 분산전원시스템의 단독운전 방지 기능에 대해서 언급하였다. 단독운전은 계통의 전력공급이 중단된 상태로써 계통의 사고 또는 정전발생시 선로의 유지/보수 및 기타의 사유로 계통을 차단하였을 때 분산전원시스템이 이를 검출하지 못하여 배전선에 전력을 공급하는 현상이다.^[2] 단독운전이 발생 할 경우 일차적으로 계통 수리, 유지 관리를 하는 전기 기술자의 안전사고의 가능성이 있으며, 또한 단독운전 중 상용라인에서의 전원 공급이 재개되는 순간에 계통과의 위상이 어긋나있게 되면 계통이나 계통연계형 시스템에 피해가 발생할 수 있다.^[3] 단독운전 검출방식으로 다양한 기법들이 연구되었으며, 수동과 능동으로 나눌 수 있으며, 수동적인 기법은 PCS 출력에 영향을 주지 않고 단지 출력상태를 모니터링하고 단독운전시 발생하는 출력특성 변동을 이용한다.

그림1에서 태양광발전시스템의 출력 전력을 식(1)과 (2)에 표현 한 것이며, 연계점 전압은 유효전력에, 주파수는 무효전력에 의해 영향을 받는다. 그러나 단독운전시에 전력생산량과 부하 요구량이 일치할 경우 연계점의 전압 및 주파수 특성이 변하지 않으며 검출하지 못하게 되는 단점이 있다.

반면 능동적 기법은 인버터의 출력전류에 변화를 주

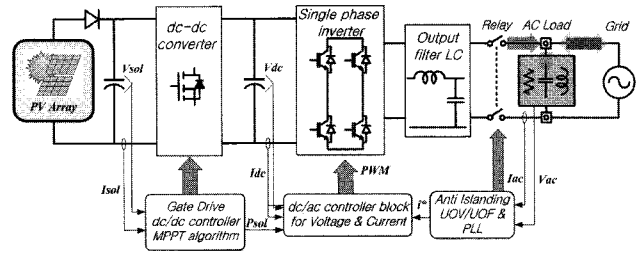


그림 1 계통연계형 분산전원시스템의 개념도
Fig. 1 Concept of UIDG system

어, 단독운전 상태에서 위와 같은 평형상태를 임의로 깨뜨려 단독운전에 적극적으로 대응하는 방법이다.

즉, 능동적기법은 분산전원시스템의 출력 전류를 계통에 크게 영향을 주지 않는 범위에서 변화를 주어, 연계점의 전압이나 주파수가 허용 범위를 벗어나도록 유도하여 시스템의 단독운전을 검출한다.^[4] 능동적 기법은 출력전류에 주입하는 왜곡 형태에 따라 다양한 방식들이 있다.^[5]

$$P_{Load} = V_{scsn} \frac{V_{scsn}}{R} \tag{1}$$

$$Q_{Load} = V_{scsn} \left[\frac{V_{scsn}}{\omega L} - \omega C V_{scsn} \right] \tag{2}$$

예를 들어 전류의 반주기마다 주파수를 빠르게, 혹은 느리게 제어하는 AFD방식^[6], 이를 개발하여 주파수를 변동하는 방향으로 더욱더 움직이도록 데드타임 구간을 조절하는 AFDPF방식, 매 주기 시작마다 전류 위상을 제어하는 SMS^[7] 방식, 연계점 전압 및 시스템 출력전류에 위상 차를 주어, 즉 무효 전력을 주입하는 RPV 등의 많은 방식이 있다.

위 방식 중에 RPV 및 AFD 방식이 흔히 많이 사용되고 있으며 전류에 왜곡을 주입하는 방식이 서로 다르나, 주입하는 왜곡으로 인해 무효전력성분이 발생하는 점을 이용하여 제안된 해석 및 설계를 통해 두 방식의 단독운전시 동일한 주파수 변동의 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에는 두 방식의 상관관계 및 장-단점을 기술하여, IEEE 929-2000^[8] 조건하에서 해석 및 시뮬레이션 그리고 실험을 통하여 제안된 해석 및 설계법의 타당성 그리고 두 방식의 연관성 등을 검증하였으며, 계통연계시 신뢰도 측면에서 어느 방식이 더 우수한지 밝혀며 향후 단독운전방지를 위한 적합한 방식을 제시하였다.

2. 단독운전 방지 기법

2.1 AFD: Active frequency drift 방식

주파수변동방식 (이하 AFD라 함)은 분산전원 시스템에서 계통으로 공급하는 전류의 주파수를 정확히 계통의 주파수에 동기 시키지 않고 출력전류의 주파수를 계통전압의 주파수 보다 빠르게 또는 느리게 바꾸어 단독운전 발생시 계통 전압의 주파수 변화를 검출하여 단독운전을 방지하는 방법이다.

그림2에서 AFD방식에서의 PCS 출력 전류의 기준 신호를 보여 주고 있으며 주파수가 빠를 시에는 식(3)과 같고, 주파수가 느릴 시에는 식(4)와 같다.

- 반주기주파수를 빠르게 할 경우

$$f(t) = \begin{cases} \sin((\omega+k'\omega)t) & 0 < t < t'_1 \\ 0 & t'_1 < t < t'_2 \\ \sin((\omega+k'\omega)(t-\Delta t_1)) & t_1 < t < t'_2 \\ 0 & t'_2 < t < t_2 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $\omega(t)$: PLL 추정 계통 각 주파수
 $0 \leq k' \leq 1$ 임

- 반주기 주파수를 낮게 할 경우

$$f(t) = \begin{cases} \sin((\omega+k'\omega)t) & 0 < t < t_1 \\ \sin((\omega+k'\omega)(t+\Delta t_2)) & t_1 < t < t_2 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $-1 < k' \leq 0$

식(3, 4)과 같이 구분적 연속으로 표현된 퍼유니트화된 전류를 푸리에급수를 이용하여 표현하면 식(5)과 같으며 a_n, b_n 은 신호의 유효 및 무효 성분의 크기를 각각 나타내며 주파수가 높일 시 기본파에 대한 계수를 구하면 식(6)과, 주파수가 낮을시 식(7)과 같다.

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{-1}{k'} \left(\cos\left(\frac{k'\pi}{1+k'}\right) - 1 \right) - \frac{1}{k'+2} \left(\cos\left(\frac{k'\pi+2\pi}{1+k'}\right) - 1 \right) \right]$$

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{k'} \sin\left(\frac{k'\pi}{1+k'}\right) - \frac{1}{k'+2} \sin\left(\frac{k'\pi+2\pi}{1+k'}\right) \right] \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{-2(k'+1)}{k'(k'+2)} (\cos(k'\pi) - 1) \right] \quad (7)$$

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{2}{k'(k'+2)} \sin(k'\pi) \right]$$

2.2 RPV: Reactive Power Variation 방식

보통 분산전원의 출력 전류를 역률1로 하기위해서

계통전압과 위상을 같게 제어하는데 RPV방식은 분산전원시스템에서 미소한 무효전력을 계통 연계점에 주기적으로 주입한다. 계통연계시 계통의 무한한 용량에 의하여 연계 점의 전압 및 주파수 변동이 발생하지 않으나 단독운전이 발생했을 때 주입된 무효전력의 크기에 비례하는 주파수 변동이 생긴다. 무효전력의 크기가 커질수록 주파수 변동이 더 많이 생기는 반면 역률이 감소된다. 무효전력을 투입시키기 위해서 인버터의 출력 전류의 기준신호를 그림2(b)에서와 같이 연계점 전압과 위상차를 두어 주입하며, 이는 유효성분과 무효성분으로 나누어져 식(8)과 같다. k 는 유효성분에 대한 무효성분의 크기이며 식(9)과 같으며 RPV방식의 전류기준치는 AFD방식과 달리 선형적 특성을 갖기 때문에 수학적 해석과 제어할 때 간단하다. 전압 전류의 위상차와 역률의 관계는 식(10)과 같다.

$$i_{con} = i_{ac} + i_{re} = \sqrt{2} I_{con}^* (\cos \omega t + k \sin \omega t) \quad (8)$$

$$k = \frac{Q_{PV}}{P_{PV}} = \frac{V_{scon} I_{con} \sin \phi_c}{V_{scon} I_{con} \cos \phi_c} \quad (9)$$

$$FPF = \frac{P_{PV}}{S_{PV}} = \cos \phi_c \quad (10)$$

여기서: k - 유효전류에 대한 무효전류의 크기

i_{ac}, i_{re} - 유효 및 무효 전류

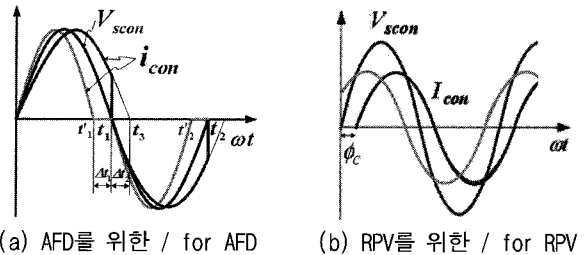


그림 2 단독운전 방지를 위한 전류 기준신호 파형
 Fig. 2 Current reference for anti-islanding

2.3 AFD와 RPV방식의 관계

AFD방식의 단독운전시 주파수변화를 해석하기 위한 기본개념은 전류기준 신호를 그림 2와 같이 반주기에 대해 주파수를 현 상태의 계통전압의 주파수보다 빠르게 또는 느리게 변조를 가함에 따라 진상 또는 지상 무효전력이 발생할 것이며, 이는 무효전력주입방식과 연관되어 dead time을 이용해서 무효 성분과 유효 성분의 크기를 잘 표현 한다면 이후로는 AFD와 RPV방식을 같은 방법으로 해석할 수 있다. 식(11)을 이용

하여 얻을 수 있는 k' 의 함수인 a_1/b_1 는 유효전력에 대한 무효전력의 비를 나타내며 RPV 방식에서 k 와 등가이며 무효성분을 기준으로 RPV와 AFD 각 방식들의 설정치인 k 과 k' 의 관계는 그림3과 같다.

두 방식에는 공진 조건이 발생하지 않도록 인위적으로 무효전력을 주입하는 방식으로 무효전력의 주입방식의 차이만 있는 것으로 해석할 수 있다. 하지만, AFD 방식의 경우 전류 기준 신호의 변조과정에서 기본파 외의 고조파 성분이 발생한다.

$$\frac{a_1}{b_1} = f(k') \quad (11)$$

3. 주파수 변동 해석

3.1 해석 조건

본 연구에서는 단독운전시 주파수 변동 특성해석을 하기 위해서 그림1에서 태양광어레이 및 PCS를 포함한 분산전원을 전류원으로 등가하여 그림4와 같이 표현했다. 또한 계통연계 시스템의 운전 지침인 IEEE 929-2000에 따라 부하를 RLC 병렬회로로 가정하였고, 전원측의 스위치를 열어 강제로 정전상태를 발생시키는 운전 조건에서 해석된다. 본 연구에서 단독운전시 시스템 운전특성의 해석은 계통 전압의 주파수 변동에 대하여 이루어지며, 해석상의 가정은 다음과 같다.

- 스위칭 손실과 같은 시스템 손실은 무시함
- 인버터는 전력은 항상 일정하며 RLC 부하의 소비 전력과 같음
- 시스템의 전력균형제어 및 전류제어는 이상적임
- 정상상태에서 PLL의 위상 오차는 0
- 단독운전시 계통전압 크기는 유효전력 균형 방정식에 의해 결정되며 동특성을 무시
- RLC 부하의 부하특성 q 는 2.5로 한다.

그림3과 같은 단독운전 검출 시험 회로의 RLC 부하 조건은 식 (12~16)과 같이 정의 할 수 있다. 그림 4(a)는 무효전력을 주입하지 않았을 때 계통 연계시에 분산전원과 부하 사이의 전력흐름 관계를 보여주며, 그림 4(b)는 무효전력을 주입했을 때의 전력흐름을 보여 주고 있다.

$$R = \frac{V_{scon}^2}{P_{PV}} \quad (12)$$

$$L = \frac{R}{(2\pi f_{res} \cdot q)} \quad (13)$$

$$C = \frac{q}{(2\pi f_{res} \cdot R)} \quad (14)$$

$$q = R \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\sqrt{Q_L \times Q_C}}{P_{PV}} \quad (15)$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (16)$$

여기서 RLC : 가정용부하의 성분
 f_{res} : 부하의 공진주파수
 Q_L, Q_C : 인덕턴스 및 커패시터의 무효전력

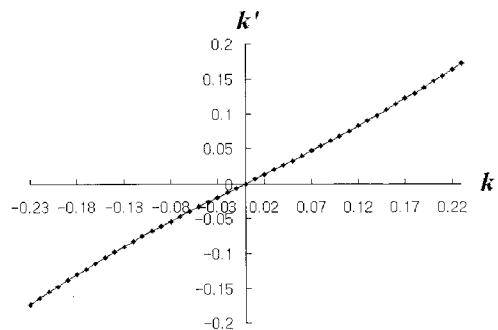


그림 3 k 와 k' 의 관계그림
 Fig. 3 Relationship between k and k'

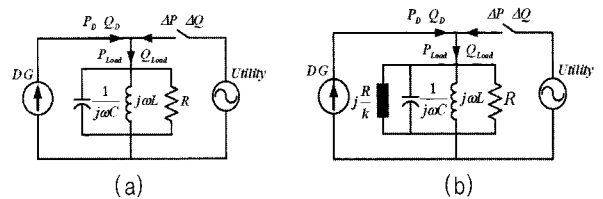


그림 4 정상시의 계통연계 시스템의 등가 회로
 Fig. 4 Equivalent circuit of UIPV system in steady state

3.2 무효전력에 의한 단독운전시의 주파수 변동

단독운전시에 병렬 LC의 임피던스는 식(17)과 같 으며 이는 계통과 병렬운전시에는 공진 조건에 의해서 0이다. 주입 된 무효전력을 등가적인 임피던스로 표현 하면 이는 식(18)과 같다.

$$Z_{LC} = \frac{\omega_i L}{1 - \omega_i^2 LC} \quad (17)$$

$$Z_{inj} = \frac{R \cdot P_{PV}}{Q_{PV}} = j \frac{R}{k} \quad (18)$$

여기서 ω_i 는 단독운전시의 주파수

단독운전시에 식(17)과 식(18)에 의한 임피던스는 서로 같게 되며 다음과 같은 식을 얻을 수 있으며 식(15)에서 C를 구하여 식(19)에 대입 하면 식(20)과 같으며 단독운전시의 주파수는 식(21,22)과 같다.

식(22)에서 k가 0일 때 무효 전력이 영이며, 즉 수동방식이 되어 단독운전시의 주파수는 부하의 공진주파수와 같게 됨을 알 수 있다. 또한 매우 작아질수록 단독운전 시에는 주파수가 RLC부하에 의한 공진주파수에 도달함을 알 수 있다.

$$\omega_i^2 + \frac{Q_{PV}}{RCP_{PV}}\omega_i - \frac{1}{LC} = 0 \quad (19)$$

$$\omega_i^2 + \frac{Rk}{q^2L}\omega_i - \left(\frac{R}{qL}\right)^2 = 0 \quad (20)$$

$$\omega_i \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \left(\frac{1}{2} \frac{k}{q} + 1\right) \quad (21)$$

$$f_i = f_{res} \cdot \left(\frac{k}{2q} + 1\right) \quad (22)$$

여기서: ω_i, f_i 는 단독운전시의 전압 주파수

IEEE 929-2000 규정에 따르면 q를 2.5, RLC 부하의 공진 주파수가 60Hz 일 때의 주파수 허용범위를 $59.3 \leq f_i \leq 60.5$ 라면 단독운전 시 주파수가 이 범위를 벗어나기 위한 ϕ_c 의 범위를 구하면 다음과 같다.

$$k = \left(\frac{f_i}{f_{res}} - 1\right) \cdot 2q \quad (23)$$

$$\left(\frac{f_{min}}{f_{res}} - 1\right) \cdot 2q \leq k \leq \left(\frac{f_{max}}{f_{res}} - 1\right) \cdot 2q \quad (24)$$

여기서 f_{min}, f_{max} 는 단독운전시 주파수의 최대 및 최소 허용 값이다.

k는 식(23)에서 와 같은 범위 안에 있을 때 단독운전 시 주파수변동은 허용범위를 벗어나지 않으며 단독운전 검출이 되지 않을 것이다. IEEE 929-2000 규정에 따라 이 범위를 구하면 $-5.83\% \leq k \leq 4.16\%$ 이 된다.

4. 시뮬레이션 및 실험결과

4.1 시뮬레이션 및 실험 조건

본 장에서는 AFD 와 RPV 방식을 비교 해석 기법을 검증하기 위해서 단상 풀 브릿지 인버터를 통해 시

뮬레이션 및 실험 결과를 다루었다. 계통연계형 인버터는 분산전원의 종류와 무관하게 일반적으로 많이 사용되는 단상 풀 브릿지 인버터를 사용하였다. Power Sim사의 PSIM6.0을 사용하여 시뮬레이션 하였으며 시뮬레이션 회로도는 그림 5와 같으며 시뮬레이션 및 실제 회로에 사용된 각 파라미터 값은 다음과 같다.

$$P = 3[kW], \quad \Delta P[\%] = 0, \quad \Delta Q[\%] = 0,$$

$$f_{sw} = 10[kHz], \quad V_{dc} = 330[V],$$

$$C_{dc} = 3200[\mu F], \quad C_{ac} = 10[\mu F], \quad L_{ac} = 4[mH]$$

4.2 시뮬레이션 및 실험 중요 파형들

그림 6에서는 0.5초에 단독운전 발생 하였을 때 검출이 되는 것을 보인다. 2개의 방식에서 거의 비슷하게 위쪽 허용 범위를 2주기 내, 아래쪽 허용범위를 4주기 내에 검출이 된다. IEEE 929-2000에서 제시한 검출 최대시간인 0.5초 내에서 검출이 가능함을 볼 수 있다. 그림 7에서는 k 와 k'에 따른 단독운전시 주파수 변동을 보이고 있으며 k를 6%, 이에 해당되는 k' 값인 0.0405 로 각방식의 설계인자를 선택하면 검출이 가능함을 볼 수 있다. 그림8(a)에 AFD와 RPV 방식의 의한 인버터 출력 전압 및 전류를 보이고 있으며 그림의 전단에는 지상의 무효 성분을 후단에는 진상의 무효 성분이 주입됨을 볼 수 있다. (b)에서는 AFD 방식의 전류 기준신호의 FFT 파형을 보이고 있으며 dead time 에 의해서 THD가 저하 되는 반면에 RPV 방식에서 기준신호는 단순한 정현파이므로 THD의 측면에서 봤을 때 RPV 방식의 특성이 좋다고 말할 수 있다.

그림 9에 k와k'에 변화에 대한 전류기준치의 THD를 보여주고 있으며 RPV에서는 k값에 무관하게 일정한 반면 AFD방식에서는 k'값 증가함에 따라 THD가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이론적으로 k와k' 값이 0일 경우 수동방식이므로 전류 기준치에 왜곡성분이 주입되지 않으므로 THD가 0이지만 시뮬레이션에서 PLL 등 제어의 동작에 의한 1.2% 정도의 THD가 발생하였다.

그림 10은 실제 실험결과 파형이며 (a)는 수동방식으로 전력평형상태에서 단독운전현상이 발생하더라도 연계점 전압 크기 및 주파수가 변하지 않으므로 검출이 불가능하다. (b~d)는 단독운전 방지를 위한 능동방식 적용시의 실제 실험 파형을 보여 주고 있으며 주입무효전력에 따라 단독운전시 주파수가 증가 감소하면서 허용 범위를 벗어나 단독운전 검출이 되었다. 표

1에서는 이론과, 시뮬레이션 그리고 실험에 대한 결과를 수치로 보이고 있으며 편리상 RPV 방식의 무효성분 크기를 기준으로 이와 동일한 k' 에 따른 결과를 나란히 보여주고 있으며 이론과 각 방식의 시뮬레이션 결과가 완벽히 일치 하였다. 실험결과는 시뮬레이션과 평균적으로 0.3Hz 오차가 발생하였다.

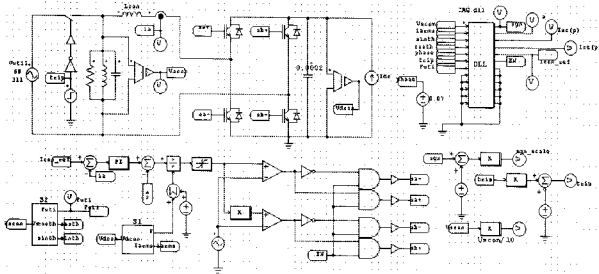
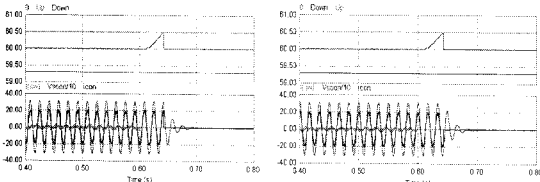
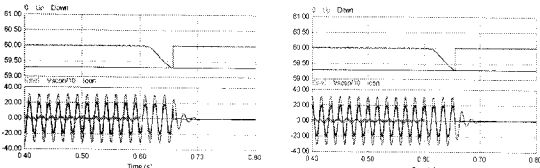


그림 5 시뮬레이션 회로도
Fig. 5 Simulation Circuits

AFD에 의한 / for AFD RPV에 의한 / for RPV



(a) 최대 한계에 의한 검출 / detect by upper limit



(b) 최소 한계에 의한 검출 / detect by lower limit

그림 6 주파수의 변동에 의한 단독운전 검출
Fig. 6 Islanding detect by frequency variation

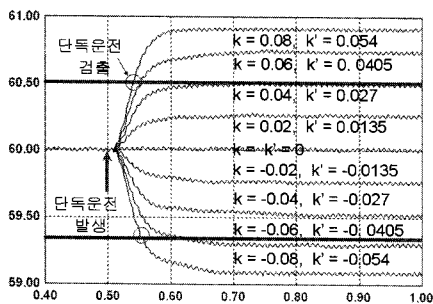


그림 7 k 와 k' 에 따른 주파수 변동
Fig. 7 Frequency variation versus k & k'

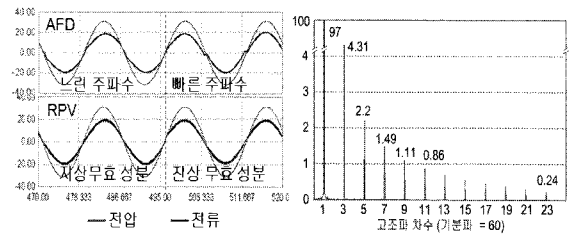
5. 결 론

본 논문에는 계통연계형 태양광발전시스템에 단독운전방지를 위한 능동적 기법 중 AFD 및 RPV 방식에 대한 특성해석을 하였다. 두 방식은 인버터출력전류를 제어하는 방식에 차이가 있으나, 무효전력을 기준으로 상호 연관성을 증가적으로 해석할 수 있었다.

본 연구에서는 무효성분 주입에 의한 단독운전 주파수 변동특성을 해석하여 정량적 설계 범을 제시하였다.

PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 각 방식에서 같은량의 무효전력이 발생하도록 설계시 단독운전시 주파수 변동이 일치함을 확인하였다.

해석 및 설계 범을 검증하기 위해서 3kW 단상 폴브릿지 인버터를 통해 실제 실험을 하였으며, 계산결과와 일치함을 확인하였다. AFD 방식의 경우 데드타임 구간이 커질수록 주파수 변동치가 커져서 단독운전 검출에 유리한 지침을 제공하나 전류 고조파가 증가하는 특성을 가진다.



(a) 전압 및 전류 (b) AFD에서 기준신호의 FFT

그림 8 제어 방식에 따른 교류 전압 및 전류 파형
Fig. 8 AC voltage¤t wave dependent on method

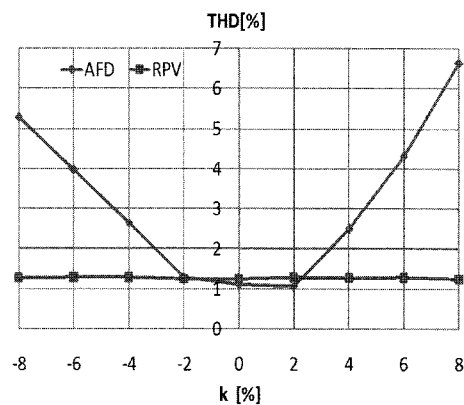


그림 9 두 방식의 THD 비교
Fig. 9 THD comparison of methods

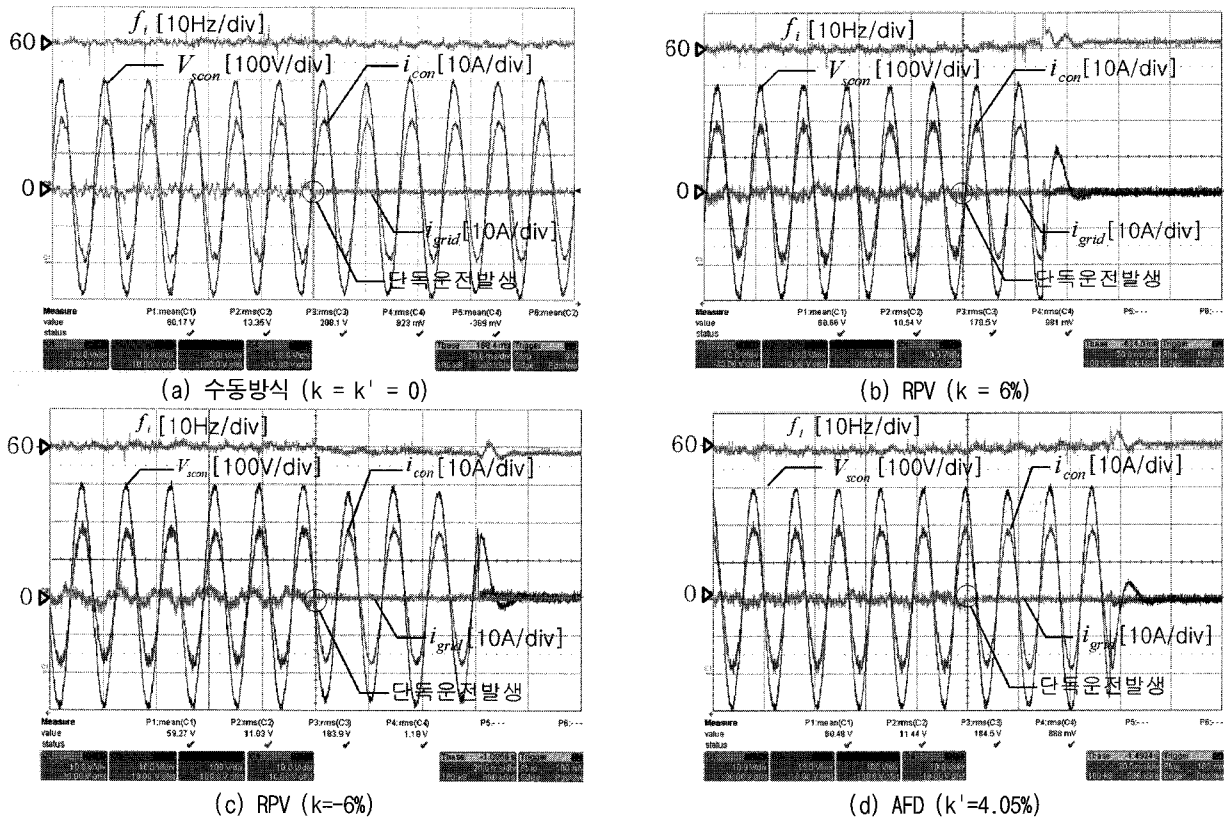


그림 10 각방식 적용시 단독운전 검출 파형
 Fig. 10 Experimental waveforms of Islanding detection every methods

표 1 전체결과 요약
 Table 1 Summary of results

k	k'	계산결과		실험결과	
		AFD	RPV	AFD	RPV
-0.08	-0.054	59.08	59.08	58.54	58.65
-0.06	-0.0405	59.28	59.30	58.74	58.98
-0.04	-0.027	59.52	59.53	59.22	59.30
-0.02	-0.0135	59.76	59.77	59.40	59.77
0.00	0.00	60.00	60.01	60.02	60.17
0.02	0.0135	60.25	60.25	60.27	60.35
0.04	0.027	60.48	60.49	60.79	60.79
0.06	0.0405	60.72	60.74	60.93	61.23
0.08	0.054	60.90	60.90	61.48	61.67

그러므로 계통 연계시 신뢰도 및 전력품질 측면에서 RPV 방식이 AFD 방식에 비해 효과적인 무효전력 주입방식으로 볼 수 있다.

RPV방식에서는 주입되는 무효 성분과 무관하게 THD가 증가하지 않으므로 계통연계시 신뢰성 및 전력품질 면에서 우수하며 k 가 증가함에 따라 역률이 감

소하지만 $k = 6\%$ 시 해석 및 실험을 통해 역률이 0.99 이상으로 계통연계시 허용 역률범위 내에 존재하므로 단독운전방지에 보다 적합한 방식임을 확인 할 수 있다.

이 논문은 2008년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임

참고 문헌

[1] P.P Barker and R.W.de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1-Ratial Distribution Systems", in Proc. 2000 IEEE PES summer meeting, Vol. 3, pp.1645-1656, 2000.
 [2] M.E. Ropp, M. Begovic, A. Rohatgi, "Prevention of islanding in grid-connected photovoltaic systems", Progress in Photovoltaics: Research and Applications.

Prog. Photovoltaic. Res. Appl. 7, pp. 39-59, 1999.

[3] 김홍성, 김한구, 최규하, 김재철, 최영호, "IEEE 929-2000 단독운전 시험조건 하에서 단상 계통연계형 PV 시스템의 Anti-Islanding을 위한 RPV 방식 및 AFD방식의 해석 및 설계", *전력전자학회논문지*, pp. 37-49, 2007.

[4] Huang S. J., Pai F. S., "Design and Operation of Grid-Connected Photovoltaic System with Power-factor Control and Active Islanding Detection", *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 148, Issue 3, pp. 243-250, 2001.

[5] Jun Yin, Liuchen Chang, "Recent Developments in Islanding Detection for Distributed Power Generation", *LESCOPE-04*, pp. 124-128, 2004.

[6] G. A. Kern, "SinShine300: Utility interactive AC module anti-islanding test result", in *Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conf*, pp. 1265-1268, 1997.

[7] G.A. Smith, P.A. Onions, D.G Infield, "Predicting islanding operation of grid connected PV inverters", *Proc. Inst. Elect Eng-Power Application*, Vol. 147, No. 1, pp. 1-6, January 2000.

[8] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic Systems, IEEE Std 929-2000, Approved 30 January 2000.

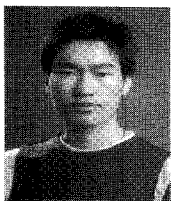
저 자 소 개



최규하(崔圭夏)

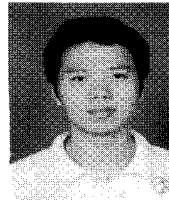
1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987년~1988년 미국 오레곤 주립대 전기공학과 Post-Doc. 1998년~1999년 버지니아주립대 교환방

문교수. 1997년~1998년 건국대 연구처 처장. 1996년~현재 건국대 산업기술연구원 인버터제어기술연구센터 소장. 1999년~현재 건국대 부설 전력전자기술연구센터 소장. 2002년~2004년 건국대 교무처 처장. 1996년~현재 전기안전공사 전기안전기술 자문위원. 현재 건국대 전기공학과 교수. 2007년~2008년 당 학회 회장 역임.



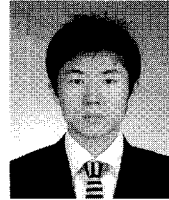
Dugarjay Bayasgalan

1982년 7월 3일생. 2005년 몽골과학기술대 기계전자학과 졸업. 2008년 건국대공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



이영진(李永鎭)

1983년 2월 26일생 2008년 건국대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



한동화(韓棟華)

1982년 11월 17일생. 2008년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



정병환(鄭炳煥)

1978년 11월 1일생. 2001년 경성대 전기공학과 졸업. 2003년 건국대 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 삼성탈레스 과장.



김홍성(金洪聖)

1967년 2월 27일생. 1992년 건국대 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1998년~1999년 일본 전력중앙연구소 Post-Doc. 2000년 3월~2007년 2

월 건국대 전기공학과 강의교수. 현재 한빛EDS 부장.