

PMSG 기반 풍력발전용 계통연계 인버터의 신뢰성 향상을 위한 새로운 하이브리드 단독운전 방지기법

(A Novel Hybrid Anti-islanding Method to Improve Reliability of Utility Interactive Inverter for a PMSG-based Wind Power Generation System)

강성욱* · 김경화**

(Sung-Wook Kang · Kyeong-Hwa Kim)

Abstract

Islanding in a grid connected inverter of wind power generation system may influence a bad effect on equipments or yield safety hazards on grid so it should be detected rapidly and exactly. A passive method to detect islanding is comparatively simpler than an active method but suffers from non detection zone (NDZ). On the other hand, the active method can significantly reduce NDZ by injecting a disturbance into inverter output. To improve the reliability of islanding detection, this paper proposes a hybrid anti-islanding detection method combining the conventional passive method as well as the active method based on novel harmonic injection method using fourier transform. The proposed scheme is fast to detect islanding when NDZ does not exist because it has the nature of passive method. Under NDZ, the active method can detect occurrence of islanding reliably. The effectiveness and validity of the proposed scheme is proved through comparative simulations.

Key Words : Hybrid Anti-islanding, NDZ, Reliability, Utility Interactive Inverter, Wind Power System

-
- * 주저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사과정
 - ** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 부교수
 - * Main author : Master's course, Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology
 - ** Corresponding author : Associate Professor, Dept. of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology
- Tel : 02-970-6406, Fax : 02-978-2754
E-mail : k2h1@seoultech.ac.kr
접수일자 : 2013년 7월 31일
1차심사 : 2013년 8월 2일, 2차심사 : 2013년 9월 12일
심사완료 : 2013년 9월 24일

1. 서 론

화석연료에 의한 화력발전은 환경오염과 온실가스로 인한 지구 온난화의 원인이다. 따라서 발전 시 환경오염 물질을 배출하지 않으며, 지속적으로 사용할 수 있는 신재생 에너지에 대한 관심과 수요가 세계적으로 증가하고 있다. 특히 풍력발전은 다른 에너지원에 비해 경제성이 가장 큰 것으로 평가받고 있어 지난 10년간 풍력발전 설비의 용량이 급속도로 증가되었으며 국내·외에서 이에 관한 연구가 적극적으로 진행되고 있다.

초기의 풍력발전기는 정속형 유도발전기를 사용하여 저렴하나 역률이 낮고 소음 및 기계적 손실이 큰 특징이 있다. 최근에는 Back-to-Back 컨버터를 이용한 가변속 영구자석 동기발전기(Permanent Magnet Synchronous Generator; PMSG)기반의 풍력발전기가 주로 사용되고 있으며 가변속 풍력발전기는 기계적 스트레스를 저감할 수 있는 장점이 있다. 가변속 풍력발전 시스템에서 Back-to-Back 컨버터는 발전기와 계통 사이에 설치되며 발전된 전기에너지를 계통 전압과 주파수에 맞추어 변환하여 계통으로 공급한다 [1-4]. Back-to-Back 컨버터는 MSC(Machine Side Converter)와 GSC(Grid Side Converter)로 구성되어 있으며, 일반적으로 GSC를 계통연계 인버터(Utility Interactive Inverter)라고도 한다. 그림 1은 일반적인 풍력발전 시스템의 구성도이다. 풍력에너지는 터빈을 통해 전기에너지로 변환되며 이는 다시 Back-to-Back 컨버터에 의해 계통으로 공급된다. 계통연계 인버터는 Point of Common Coupling(PCC)에 연결된 부하를 계통과 함께 분담하거나, 부하에 공급하고 남은 잉여전력을 계통으로 공급한다.

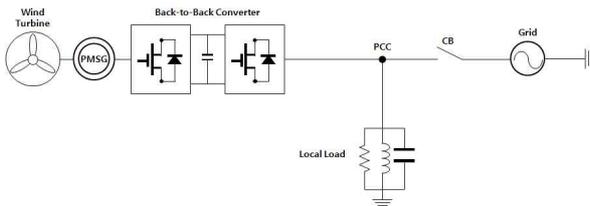


그림 1. 풍력발전 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of the wind power generation system

풍력발전과 같은 분산전원이 계통에 연계되어 계통 연계 모드로 운전되는 경우, IEEE Std 929-2000, 1547.1-2005 [5], 1547.2-2008 [6] 및 VDE 0126과 같은 기준을 만족하여야 한다. 이러한 기준에서는 계통의 허용 전압 및 주파수 범위, 고조파 제한, 역률, 분산전원과 계통의 동기화 및 전압의 플리커 등의 전력품질(Power Quality)과 단독운전 방지기법과 같은 보호기법에 대해 요구하고 있다.

단독운전이란 계통 사고 등의 이유로 계통 측 차단

기가 동작하여 분산전원이 계통과 분리되었음에도 불구하고 계통연계 인버터가 이를 인지하지 못하고 PCC 연결 부하에 계속 전력을 공급하는 상태를 말한다. 단독운전 시 계통연계 인버터는 전압과 주파수를 제어하지 못하므로 전기설비의 손상과 안전사고를 일으킬 수 있다. 따라서 이와 같은 단독운전을 신속하고 정확하게 검출하여 계통연계 인버터를 정지시킬 수 있는 단독운전 방지기법이 필요하다.

본 논문에서는 PMSG 기반 풍력발전 시스템에서 계통연계 인버터의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 새로운 하이브리드 단독운전 방지기법을 제시한다. PMSG 기반 풍력발전 시스템에서 계통의 사고에 의한 단독운전 발생 시, 푸리에 변환(Fourier Transform)을 이용한 새로운 능동 고조파 주입기법을 제안하고, 이를 기존의 수동 전압/주파수 검출기법과 함께 조합한 하이브리드 단독운전 방지기법을 제안한다. 제안된 하이브리드 기법은 수동 검출기법의 신속성과 능동 검출기법의 신뢰성을 동시에 만족하는 기법이다. 또한 비교 시뮬레이션을 통해 제안된 하이브리드 기법이 검출불능 영역(Non Detection Zone; NDZ)의 유무에 관계없이 단독운전을 정확하고 신속하게 검출할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 입증한다.

2. 수동 전압/주파수 검출기법과 NDZ

단독운전 방지기법은 크게 수동 검출기법과 능동 검출기법으로 구분할 수 있다. 수동 검출기법은 전압, 주파수, 위상 및 고조파 등과 같은 시스템 파라미터의 변화를 모니터링하여 단독운전을 검출하는 기법이다. 다음은 대표적인 수동 검출기법들[7]이다.

- 위상 검출기법(Phase Monitoring Method)
- 고조파 검출기법(Voltage Harmonic Monitoring Method)
- 전압/주파수 검출기법(Over/Under Voltage and Over/Under Frequency; OUV-OUF method)

위상 검출기법은 단독운전 전후의 전압의 위상차를 이용하며 NDZ가 존재하는 단점이 있다. 고조파 검출기법은 전압의 고조파를 이용하는 방법으로 단독운전 시 발생하는 고조파의 크기가 작으며 정상상태에서

고조파의 오검출이 일어날 수 있는 단점이 있다. 전압/주파수 검출기법은 PCC의 전압과 주파수 변동을 모니터링하는 방법으로 역시 NDZ가 존재하는 단점이 있다. 그림 2와 같이 정상 상태에서 계통연계 인버터는 계통과 연계되어 운용된다. 이때 전압과 주파수는 계통에 의해 결정되며 계통연계 인버터는 PLL(Phase Locked Loop)기법을 이용하여 인버터의 출력전류가 계통전압에 동기화되도록 전류를 제어한다.

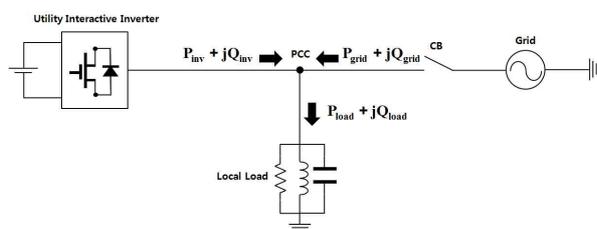


그림 2. 인버터의 계통연계 모드
Fig. 2. Grid connected mode of utility interactive inverter

PCC에 연결된 부하(Local Load)는 계통연계 인버터와 계통으로부터 동시에 전력을 공급받게 되며, 이때 부하에서의 유효 및 무효전력 ($P_{load} + jQ_{load}$)은 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P_{load} = P_{inv} + P_{grid} \quad (1)$$

$$Q_{load} = Q_{inv} + Q_{grid} \quad (2)$$

계통의 사고 등에 의해 그림 3과 같이 계통연계 인버터가 계통 측과 분리될 경우, PCC에 연결된 부하는 오직 계통연계 인버터에서만 전력을 공급받게 된다. 따라서 단독운전 모드에서의 부하의 유효 및 무효전력 ($P'_{load} + jQ'_{load}$)은 계통연계 인버터의 공급전력과 같게 되고, 식 (3)과 (4)로 나타낼 수 있다.

변동된 유효 및 무효전력은 부하 전압의 크기와 주파수에 영향을 미친다. 만약 인버터에서 공급되는 유효전력이 원래의 부하에서 소모되는 유효전력 보다 작다면, 부하 전압의 크기는 감소한다. 유효전력에 의한 전압의 크기 변동은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

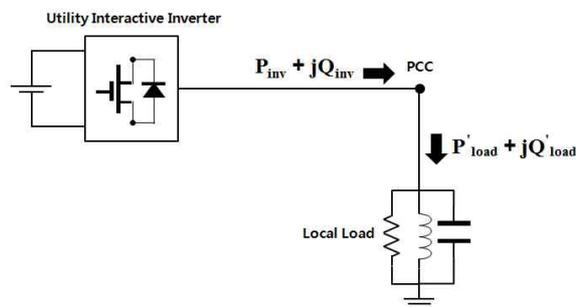


그림 3. 계통연계 인버터의 단독운전 모드
Fig. 3. Islanding mode of utility interactive inverter

$$P'_{load} = P_{inv} = \frac{V'^2}{R} \quad (3)$$

$$Q'_{load} = Q_{inv} = \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) V'^2 \quad (4)$$

$$K = \sqrt{\frac{P'_{load}}{P_{load}}} = \frac{V'}{V} \quad (5)$$

여기서 K 는 단독운전 전후의 전압 크기의 비를 나타내며 V' 는 단독운전 모드에서의 PCC 전압을, V 는 계통연계 모드에서의 PCC 전압을 나타낸다. 인버터의 공급전력이 부하의 유효전력보다 작다면 K 는 1보다 작아지게 된다. 무효전력 또한 주파수에 영향을 미치며 단독운전 모드에서의 PCC 주파수 변동은 식 (6)과 같이 나타낸다[7].

$$\omega' = \frac{-\frac{Q'_{load}}{CV^2} + \sqrt{\frac{Q'_{load}}{CV^2} + \frac{4}{LC}}}{2} \quad (6)$$

여기서 ω' 는 단독운전 모드시의 각주파수이며, L 과 C 는 각각 부하의 인덕턴스 및 커패시턴스이다. 식 (6)은 식 (4)로부터 쉽게 유도되며 단독운전 모드시의 변동된 유효전력과 무효전력이 ω' 에 주는 영향을 나타낸다. 이러한 전력의 변화에 의해 PCC의 전압과 주파수 변동을 모니터링하여 단독운전을 검출하는 기법을 수동 전압/주파수 검출기법(OUV-OUF method)이라 한다.

IEEE Std. 1547 기준에서는 전기설비의 보호를 위

해 시스템 파라미터의 허용 범위가 명시되어 있다. 파라미터의 값이 규정된 허용범위를 벗어날 경우, 단독운전으로 간주할 수 있으며 차단시간(Clearing Time) 안에 인버터를 정지시켜야 한다. 표 1과 표 2는 분산전원의 전력이 30kW 이하 일 때, IEEE Std. 1547에 따른 전압/주파수의 비정상 영역(Abnormal Range)과 차단시간이다.

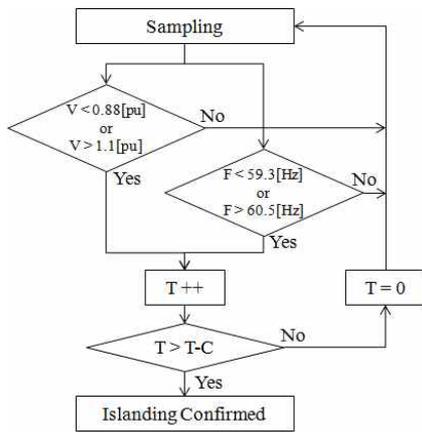


그림 4. 기존의 수동 전압/주파수 검출기법
Fig. 4. Conventional passive OUV-OUF method

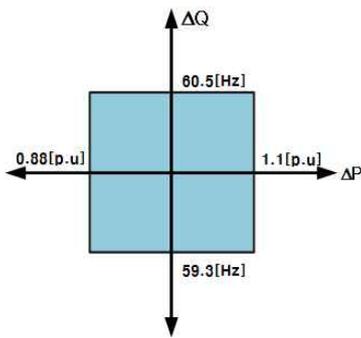


그림 5. 검출불능 영역
Fig. 5. NDZ

그림 4는 전압과 주파수 관찰에 의한 기존의 수동 검출기법을 나타낸다. 계통의 전압과 주파수가 표 1과 2에 나타난 비정상영역 내에 존재 할 경우 시간(T)이 측정되기 시작한다. 계통연계 모드에서의 일시적인 전압과 주파수의 변동에 의한 단독운전 검출오류를 최소화하고 검출의 신뢰성을 높이기 위해 T가 설정한 검출확정 시간(T-Confirmed; T-C) 이상일 경우 단독

운전으로 판정하고 계통연계 인버터를 정지시킨다. 그러나 단독운전이 발생하더라도 파라미터의 변화가 허용범위 내에서 유지될 수 있으며, 이 경우 단독운전이 검출될 수 없다. 이와 같은 파라미터의 허용범위를 검출불능 영역(NDZ)이라 한다. 그림 5는 표 1과 2의 비정상 영역을 고려한 NDZ를 나타낸다.

표 1. 전압의 비정상 영역과 차단시간
Table 1. Abnormal voltage range and clearing time

Voltage Range (%)	Clearing Time (s)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2
$110 < V < 120$	1
$120 \leq V$	0.16

표 2. 주파수의 비정상 영역과 차단시간
Table 2. Abnormal frequency range and clearing time

Frequency Range (Hz)	Clearing Time (s)
$F < 59.3$	0.16
$F > 60.5$	0.16

3. 제안된 단독운전 방지기법

수동 검출기법과 달리 능동 검출기법은 단독운전을 검출하기 위해 인버터 출력에 고조파, 주파수 및 위상 변화와 같은 인위적인 외란(Disturbance)을 주입함으로써 NDZ의 범위를 축소시키거나, NDZ를 제거하여 검출의 신뢰성을 향상시키는 기법이다. 능동 검출기법은 정상 상태에서 시스템이 외란의 영향을 받는 단점이 있으나 검출기법의 우수성으로 다음과 같이 폭넓게 연구되고 있다.

- Active Frequency Drift [8-9]
- Sandia Frequency Shift [10]
- Reactive Power Variation [11-12]
- Harmonic Injection [13-16]

주파수 변동기법(Active Frequency Drift)은 인버터 출력전류의 주파수에 테드타임을 설정하여 단독운전 시 변동하는 주파수를 관찰하는 기법이며, 샌디아 주

파수 변동기법(Sandia Frequency Shift)은 주파수 변동기법에 피드포워드 항을 추가한 기법이다. 무효전력 변동기법(Reactive Power Variation)은 주기적으로 무효전력을 주입하여 단독운전 시의 주파수 변동을 관찰하는 기법이며, 고조파 주입기법(Harmonic Injection)은 특정 고조파를 주입하여 단독운전 시 발생하는 고조파를 관찰하여 검출하는 기법이다.

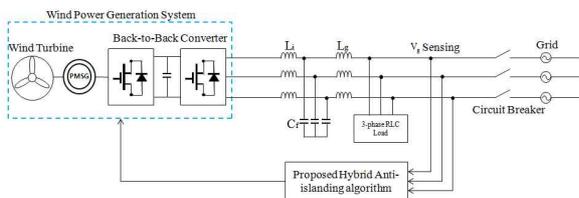


그림 6. 계통연계형 풍력발전 시스템의 제안된 하이브리드 단독운전 방지기법 구성도

Fig. 6. Scheme of proposed hybrid anti-islanding method for grid connected wind power generation system

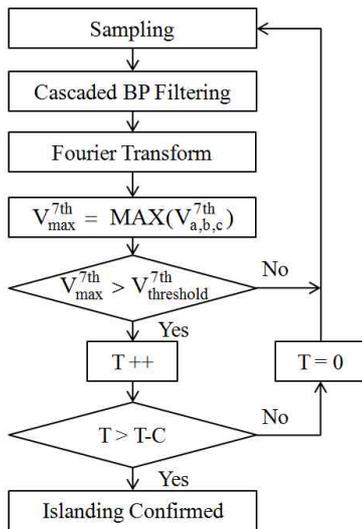


그림 7. 제안된 고조파 검출 알고리즘
Fig. 7. Proposed detection algorithm for 7th harmonic

인버터 출력에 7차 고조파 전압을 주입하고 단독운전 발생 시 나타나는 7차 고조파를 관찰하기 위해 7차 동기 좌표계로의 변환을 이용한 기법이 제안되었다 [16]. 그러나 이러한 방법으로는 불평형 7차 고조파에

의한 q축 전압 값이 일정하지 않고 고조파의 피크치를 정확히 구할 수 없으며, 이 값이 진동하게 되어 단독운전 검출을 위한 고조파 설정치와 비교하기 어렵게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 푸리에 변환을 이용하여 7차 고조파를 정확히 계산하고 이를 단독운전 검출에 적용하여 검출의 정확성과 신뢰성을 향상시키고자 한다.

그림 6은 계통연계형 풍력발전 시스템의 제안된 하이브리드 단독운전 방지기법의 구성을 나타내며 그림 7은 대역통과 필터와 푸리에 변환을 이용한 제안된 고조파 주입기법의 고조파 검출 알고리즘을 나타낸다.

단독운전 모드시 나타나는 7차 고조파를 구하기 위해 PCC에서 3상 전압을 센싱하며 이를 중심 주파수 420Hz, 대역폭 20Hz의 2차 대역통과 필터(Band Pass Filter; BPF)에 통과시켜 기본과 성분이 제거된 7차 고조파 성분만을 구하게 된다. 필터링된 3상 전압은 인버터 출력의 7차 고조파 성분의 크기를 계산하기 위해 식 (7)~(9)의 푸리에 변환 기법이 적용된다.

$$|V_{g(7th)}| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (7)$$

$$a_n = \frac{7}{T} \int_0^{\frac{T}{7}} V_{g(7th)} \cos(7\omega t) dt \quad (8)$$

$$b_n = \frac{7}{T} \int_0^{\frac{T}{7}} V_{g(7th)} \sin(7\omega t) dt \quad (9)$$

여기서 $|V_{g(7th)}|$ 는 계산된 7고조파의 크기, $V_{g(7th)}$ 는 대역통과 필터링을 한 계통전압 및 T 는 계통의 주기를 나타낸다. 식 (7)~(9)에서는 고조파 계산에 소요되는 시간을 줄이기 위해 기본파의 1/7 주기 동안 주기적분이 수행된다. 단독운전의 정확한 검출을 위해 각 상에서 계산된 고조파의 크기가 비교되며 그 중 가장 큰 7차 고조파의 성분이 V_{max}^{7th} 로 설정된다. 이 값은 $V_{threshold}^{7th}$ 와 비교되어 일정 시간 이상 동안 V_{max}^{7th} 가 크게 유지되는 경우 단독운전으로 판정하고 계통연계 인버터를 정지시킨다.

그림 8은 제안된 하이브리드 단독운전 방지기법의 순서도를 나타낸다. 계통과 분리 시 부하의 전력변화

는 일반적으로 상당히 증가하며, 이는 전압과 주파수에 영향을 주어 기존의 수동 전압/주파수 검출기법을 통해 신속하게 단독운전을 검출할 수 있다. 하지만 수동 검출기법은 특정 동작 조건에서 NDZ를 가져 검출 불능 상태에 이를 수 있다. 제안된 능동 고조파 주입 기법은 NDZ에 관계없이 정확하게 단독운전을 검출할 수 있으므로 검출의 신뢰성이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 하이브리드 기법에서는 수동 검출기법과 능동 검출기법을 조합하여 검출의 신뢰성과 신속성을 향상시켰다.

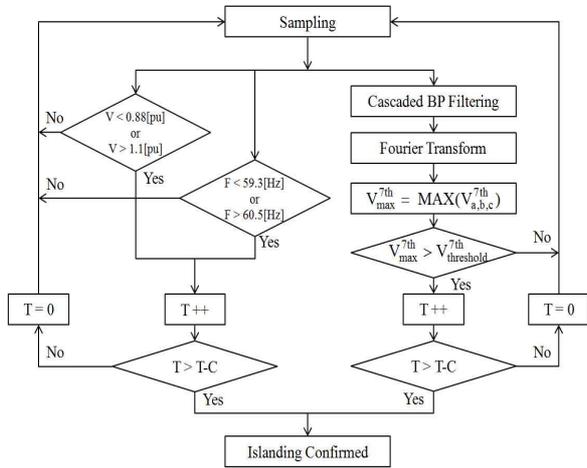


그림 8. 제안된 하이브리드 단독운전 방지기법
Fig. 8. Proposed hybrid anti-islanding method

4. 시뮬레이션 결과

단독운전 전후의 부하전력의 변화가 큰 경우와 작은 경우에 대해 제안된 단독운전 검출기법의 유용성을 입증하기 위해 PSIM을 이용한 비교 시뮬레이션이 수행되었으며 제어기는 PSIM의 DLL 블록에 의해 구현된다. 계통연계형 풍력발전 시스템의 전체 구성은 그림 6에 나타나 있으며, 그림 9는 PSIM으로 구현한 전체 시뮬레이션 구성도를 나타낸다.

컨버터와 인버터의 전류제어로는 동기좌표계 PI 비결합 전류제어가 사용된다. 샘플링 시간은 100μsec로 설정되며 전압명령은 공간벡터 PWM 기법에 의해 인가된다. 시뮬레이션을 위한 계통연계 인버터의 파라

미터는 표 3과 같으며, RLC 부하는 IEEE Std. 1547에 따라 Quality Factor가 1이 되도록 5kW의 RLC 부하를 선정하였다.

단독운전 전후에 PCC 전압과 주파수 변동의 NDZ 내 존재 여부는 부하전력의 크기 변화에 의존하므로 풍력발전기 출력이 5kW와 4kW인 두 조건에 대해 제안된 기법의 비교 시뮬레이션이 수행되었다. 계통은 사고에 의해 0.3s에서 분리되는 것으로 가정하였으며 검출확정 시간은 50ms로 설정하였다.

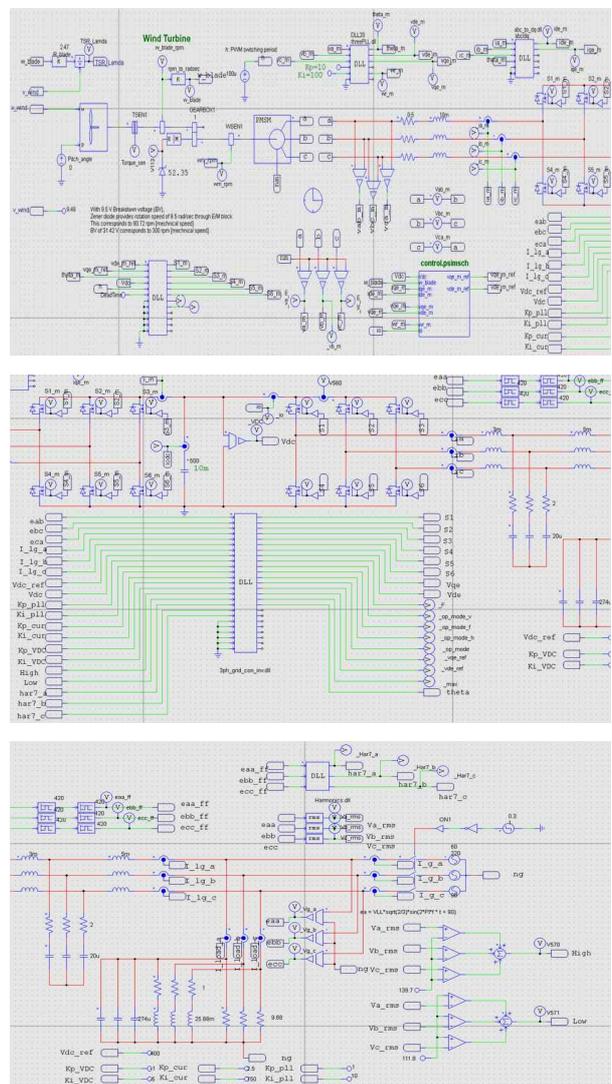


그림 9. 시뮬레이션을 위한 풍력발전 시스템의 구성도
Fig. 9. Configuration of grid connected wind power generation system for simulation

표 3. 시스템 파라미터
Table 3. System parameters

Rated load active power	5kW
Rated voltage	220V
Rated frequency	60Hz
Load resistance	9.68Ω
Load inductance	25.68mH
Load capacitance	274uF
L_i	3mH
L_g	5mH
C_f	20uF
Turbine rated power	5kW
Turbine rated wind speed	9.5m/sec
Turbine rated speed	300rpm
Turbine blade radius	2.5m

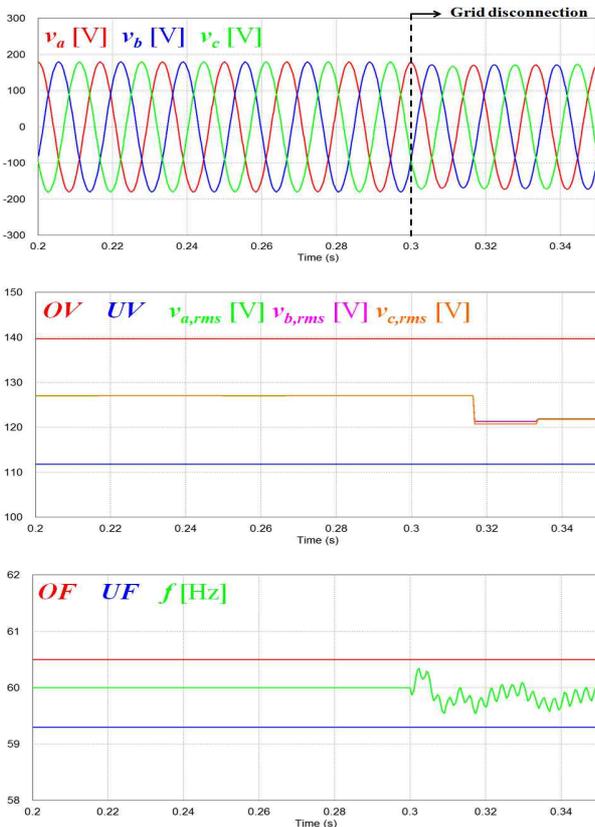


그림 10. 발전기 출력이 5kW일 때 PCC 전압과 주파수
Fig. 10. Voltage and frequency at PCC under the generator output power of 5kW

그림 10은 풍력발전기 출력이 5kW일 때, PCC에서의 3상 전압 파형 v_a, v_b, v_c 각상의 실효값 $v_{a,rms}, v_{b,rms}, v_{c,rms}$ 및 주파수 f 를 나타낸다. 여기서 OV, UV는 각각 전압 정상범위의 상한 및 하한을, OF, UF는 주파수 정상범위의 상한과 하한을 나타낸다. 0.3s에서 계통 측 차단기가 동작되어 단독운전이 발생했음에도 불구하고 부하전력의 변화가 작아 PCC 전압과 주파수는 그림 5의 NDZ안에 존재한다. 따라서 기존의 수동 전압/주파수 검출기법으로는 단독운전을 검출할 수 없음을 알 수 있다.

그림 11은 풍력발전기 출력이 5kW일 때, 제안된 고조파 주입기법을 이용한 3상 전압의 고조파 $v_a^{7th}, v_b^{7th}, v_c^{7th}$ 와 고조파의 최댓값 v_{max}^{7th} 을 나타낸다. 계통이 분리되기 전인 0.3s 이전의 계통연계 모드 정상 상태에서는 계통전압의 고조파가 나타나지 않지만 0.3s에서 계통이 분리된 후 단독운전의 영향으로 고조파는 급격히 증가하게 된다. 이러한 고조파의 증가를 이용하여 단독운전이 0.385s에서 판정되어 풍력발전 시스템이 정지된다.

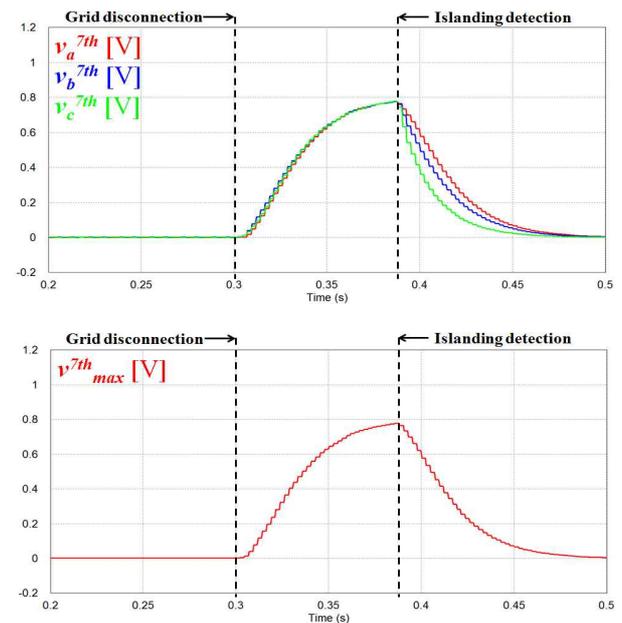


그림 11. 발전기 출력이 5kW일 때 3상전압 고조파 특성
Fig. 11. Harmonic characteristics of three phase voltage under the generator output power of 5kW

그림 12는 고조파 주입기법에 의해 단독운전이 판정되어 풍력발전 시스템의 정지되는 상태를 나타낸다. 발전 시스템이 정지되어 더 이상 a상의 PCC 전압 v_a 와 인버터 전류 i_a 가 출력되지 않음을 확인할 수 있다.

그림 13은 전압, 주파수 및 고조파 주입기법에 의한 단독운전 검출결과를 나타낸다. 수동 검출기법인 전압과 주파수 기법으로는 NDZ의 영향으로 단독운전을 검출할 수 없으나 제안된 능동 고조파 주입기법에 의해 효과적으로 단독운전을 검출할 수 있음을 확인할 수 있다.

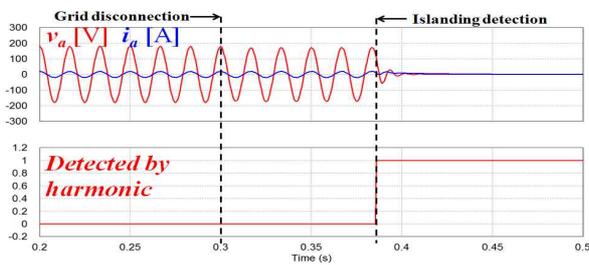


그림 12. 발전기 출력이 5kW일 때 a상의 전압과 전류
Fig. 12. Voltage and current in a-phase under the generator output power of 5kW

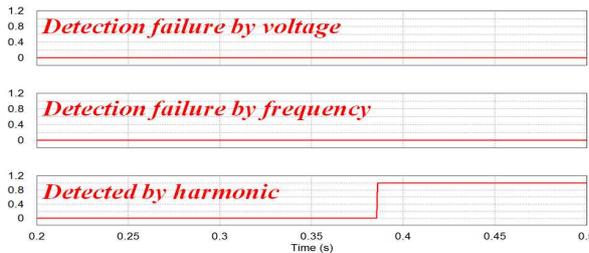


그림 13. 각 기법에 의한 단독운전 검출결과
Fig. 13. Comparison of detection results for islanding

그림 14는 풍력발전기 출력이 4kW일 때, PCC에서의 3상 전압 파형, 각상의 실효값 및 주파수를 나타낸다. 0.3s에서 계통 측 차단기의 동작으로 인한 단독운전 발생 시, 부하전력의 변화가 비교적 크게 나타나며, 전압이 NDZ를 벗어나 기존의 수동 검출기법으로도 효과적으로 0.366s에서 단독운전을 검출할 수 있음을 알 수 있다.

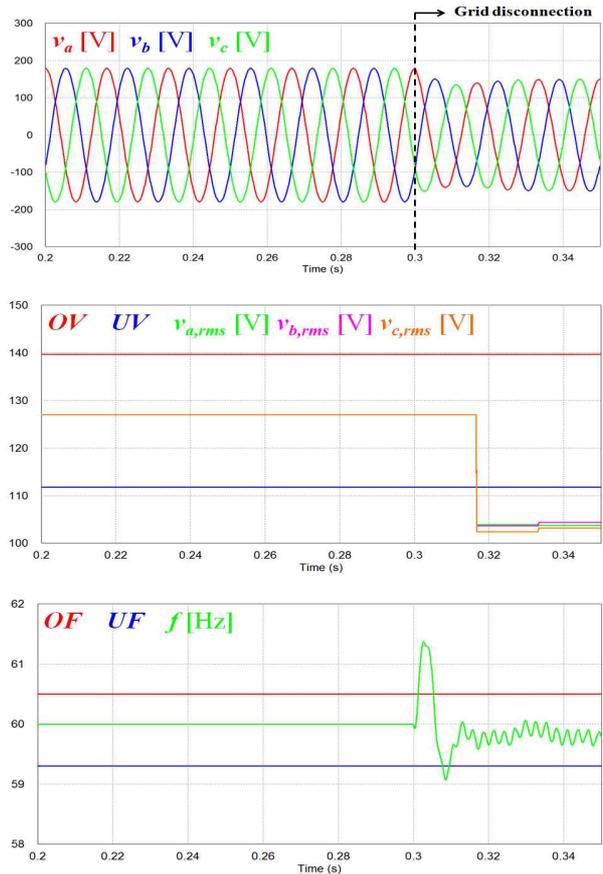


그림 14. 발전기 출력이 4kW일 때 PCC 전압과 주파수
Fig. 14. Voltage and frequency at PCC under the generator output power of 4kW

그림 15는 풍력발전기 출력이 4kW일 때, 제안된 고조파 주입기법을 이용한 3상 전압의 고조파와 고조파의 최댓값을 나타낸다. 단독운전 전후 부하전력의 변화가 크다 하더라도 제안된 고조파 주입기법은 정상적으로 단독운전을 검출할 수 있으나 검출시간이 수동 전압/주파수 검출기법보다 비교적 느리다.

그림 16은 풍력발전기 출력이 4kW일 때, 수동 전압/주파수 검출기법에 의해 단독운전이 판정되어 풍력발전 시스템이 정지된 상태를 나타낸다.

이상의 결과에서와 같이 수동 검출기법은 신속한 단독운전 검출이 가능하나 NDZ를 갖는 단점이 있는 반면 능동 검출기법은 NDZ여부에 상관없이 신뢰성 있는 검출결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 신속하고 신뢰성 있는 검출기법을 위해 두 기법의 장

점을 활용하여 하이브리드 단독운전 방지기법으로 구현하였다.

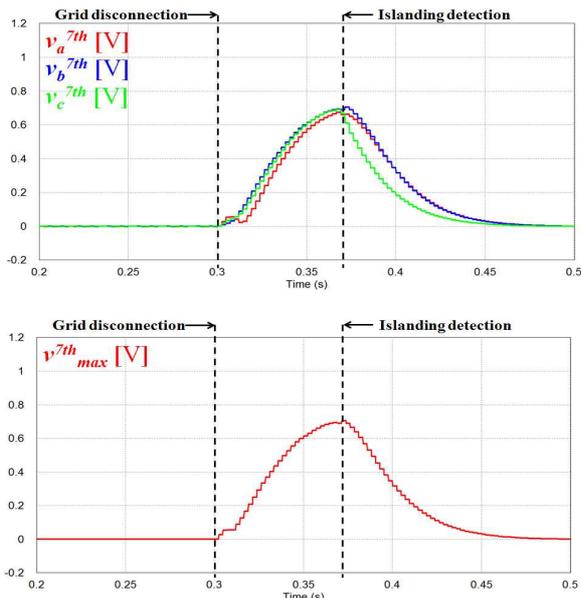


그림 15. 발전기 출력이 4kW일 때 3상전압 고조파 특성
 Fig. 15. Harmonic characteristics of three phase voltage under the generator output power of 4kW

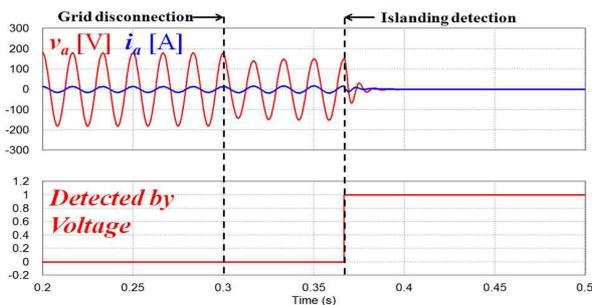


그림 16. 발전기 출력이 4kW일 때 a상의 전압과 전류
 Fig. 16. Voltage and current in a-phase under the generator output power of 4kW

5. 결 론

본 논문에서는 PMSG 기반 풍력발전 시스템이 계통에 연계되어 운용될 때 계통연계 인버터의 신뢰성을 향상시키기 위한 새로운 하이브리드 단독운전 방지기법을 제안하였다. 계통연계 인버터의 단독운전

전후에 PCC에서의 전압과 주파수 변동의 NDZ 내 존재 여부는 일반적으로 부하전력의 크기 변화에 의존하게 된다. 따라서 우선 NDZ를 갖지 않는 새로운 능동 고조파 주입기법을 제안하였으며, 이를 바탕으로 기존의 수동 전압/주파수 검출기법과 조합하여 NDZ 발생 여부에 관계없이 신속하고 신뢰성 있게 단독운전을 검출하기 위해 하이브리드 단독운전 방지기법으로 조합하였다. 본 기법에서는 NDZ 하에서도 단독운전을 검출할 수 있는 능동 고조파 주입기법과 NDZ가 발생하지 않는 조건하에서 신속하게 단독운전을 검출할 수 있는 수동 전압/주파수 검출기법을 병행하여 계통연계 인버터의 신뢰성을 향상 시켰다. PSIM으로 구현한 비교 시뮬레이션을 통해 제안된 기법이 신속하고 신뢰성 있게 단독운전을 검출할 수 있음을 입증하였다.

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임.
 (NRF-2012R1A1A2042759)

References

- [1] M. Jamil, R. Gupta, and M. Singh, "A review of power converter topology used with PMSG based wind power generation", IEEE Fifth Power India Conference, pp. 1-6, 2012.
- [2] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines", IEEE Trans. on Power Electr., vol. 24, no. 8, pp. 1859-1875, 2009.
- [3] E. H. Kim, K. B. Kang, J. H. Kim, S. H. Moon, S. B. Oh, and S. H. Kim, "Modeling and analysis of variable wind speed turbine system using back to back converter", Journal of KIIE vol. 19, no.8, pp. 150-157, 2005.
- [4] D. Y. Yu, Y. S. Choi, H. H. Choi, and J. W. Jung, "Fuzzy speed controller design of permanent magnet synchronous generators for variable-speed wind turbine systems", Journal of KIIE vol. 25, no.2, pp. 69-79, 2011.
- [5] IEEE Std 1547.1-2005, "IEEE standard conformance test procedures for equipment interconnecting distributed resources with electric power systems", pp. 1-62, 2005.
- [6] IEEE Std 1547.2-2008, "IEEE application guide for IEEE Std 1547, IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems", pp. 1-207, 2009.
- [7] F. D. Mango, M. Liserre, A. D. Aquila, and A. Pigazo, "Overview of anti-Islanding algorithms for PV systems.

part I: passive methods”, IEEE 12th International conference on EPE-PEMC, pp. 1878-1883, 2006.

[8] A. Yafaoui, B. Wu, and S. Kouro, “Improved active frequency drift anti-islanding detection method for grid connected photovoltaic systems”, IEEE Trans. on Power Electr., vol. 27, no. 5, pp. 2367-2375, 2012.

[9] M. E. Ropp, M. Begovic, and A. Rohatgi, “Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention”, IEEE Trans. on Energy Conv., vol. 14, no. 3, pp. 810-816, 1999.

[10] H. H. Zeineldin, S. Conti, “Sandia frequency shift parameter selection for multi-inverter systems to eliminate non-detection zone”, IET Renewable Power Generation, vol. 5, no. 2, pp.175-183, 2011.

[11] G. Hernandez-Gonzalez, and R. Iravani, “Current injection for active islanding detection of electronically-interfaced distributed resources”, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1698-1705, 2006.

[12] Y. Zhu, D. Xu, N. He, J. Ma, J. Zhang, Y. Zhang, G. Shen, and C. Hu, “A novel RPV (Reactive-Power-Variation) antiislanding method based on adapted reactive power perturbation”, IEEE Trans. on Power Electr., vol. 28, no. 11, pp. 4998-5012, 2013.

[13] M. Ciobotaru, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, “On-line grid impedance estimation based on harmonic injection for grid-connected PV inverter”, IEEE International Symposium on Indus. Electr., pp. 2437-2442, 2007.

[14] F. Bertling, and S. Soter, “A novel converter integrable impedance measuring method for islanding detection in grids with widespread use of decentral generation”, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp. 503-507, 2006.

[15] L. Asiminoaei, R. Teodorescu, F. Blaabjerg, and U. Borup, “A digital controlled PV-inverter with grid impedance estimation for ENS detection”, IEEE Trans. on Power Electr., vol. 20, no. 6, pp. 1480-1490, 2005.

[16] H. M. Oh, S. W. Choi, T. H. Kim, G. P. Lee, and T. W. Lee, “Anti-islanding method by harmonic injection for utility interactive inverter with critical load”, The Transactions of KPE, vol. 17, no. 4, pp. 315-321, 2012.

◇ 저자소개 ◇



강성욱(姜星旭)

1988년 5월 26일생. 2013년 2월 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2013년 3월 ~현재 서울과학기술대학교 대학원 전기정보공학과 석사과정.



김경화(金庚和)

1969년 3월 11일생. 1991년 2월 한양대 전기공학과 졸업. 1993년 2월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(석사). 1998년 2월 동 대학원 졸업(박사). 1998~2000년 삼성 전자 선임연구원. 2000~2002년 KAIST 연구교수. 2002년~현재 서울과학기술대 전기정보공학과 부교수.