

전압 불평형과 발전기 출력 변동을 이용한 분산전원의 단독운전 판단 기법

강용철\*, 장성일\*\*, 이지훈\*, 차선희\*, 김연희\*, 이병은\*, 김용균\*\*  
 \*전북대학교, \*\*(주)한국 아이이디 이엔지

Islanding detection method for distributed generations using the change of the voltage unbalance and the output power of DG

Yongcheol Kang\*, Sungil Jang\*\*, Jihoon Lee\*, Sunhee Cha\*, Yeonhee Kim\*, Byungeun Lee\*, Yongguen Kim\*\*  
 \*Chonbuk National University, \*\*HANKOOK IED ENG

**Abstract** - Islanding operations of DG usually occur when power supply from the main utility is interrupted due to several reasons but the DG keeps supplying power into the distribution networks. These kinds of islanding conditions cause negative impacts on protection, operation, and management of distribution systems. Therefore, it is necessary to effectively detect the islanding conditions and swiftly disconnect DG from distribution network. This paper proposes the islanding detection algorithm for DG using the change of the voltage unbalance and the output power of DG. The proposed method effectively combines the conventional parameters for detecting the islanding conditions. The proposed methods were verified using the radial distribution network of IEEE 34 bus.

1. 서 론

분산전원의 단독운전이란 계통 전원이 상실되었을 때 분산전원 단독으로 수용가에 전력을 공급하고 있는 상태를 말한다. 분산전원 단독운전의 경우 계통로 계전기의 계폐로 시 불평형으로 인한 기기손상, 전력품질의 저하 및 계통 복구의 어려움 등의 많은 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 분산전원 단독운전을 신속히 검출하여 계통으로부터 분산전원을 분리시키는 것은 전력 시스템 보호를 위해 매우 중요하다.

일반적으로 단독운전 전후에 분산전원의 출력 변동이 큰 경우에는 전압, 전류, 주파수, 위상 등을 이용하여 단독운전을 판단하는 방식이 사용된다 [1][2]. 그러나 단독운전 시 출력 변동이 크지 않은 경우에는 측정하는 계통 정보들의 변화량이 적기 때문에 정확한 판단이 어려워진다. 본 논문에서는 전압 불평형과 분산전원의 전력 변동을 이용한 분산전원의 단독운전 판단 기법을 제안한다. 제안한 방식은 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우 효과적으로 검출 할 수 있는 알고리즘으로 분산전원 출력단 측의 전압 불평형 변동률과 유효전력 변동률을 고려하여 단독운전을 검출한다. 제안한 알고리즘은 연계계에서 계산된 전압 불평형 변동률이 크게 변동하면서 유효전력의 변동률이 작은 값을 가지면 분산전원이 단독으로 운전하고 있다고 판단한다. 제안한 방식을 적용하면 정상적인 계통의 1상, 2상부하의 변동 시에도 분산전원의 단독운전과 정확히 구분하여 오동작을 예방할 수 있다.

2. 전압 불평형과 분산전원의 전력 변동을 이용한 단독운전 판단 기법

제안한 분산전원의 단독운전 판단 기법은 분산전원 출력단 측의 전압 크기, 전압 불평형 변동률, 유효전력 변동률을 계산하여 분산전원의 단독운전을 판단하는 방식이다.

분산전원 단독운전 시, 단독운전 전후의 분산전원의 출력 변동이 큰 경우에는 전압 실효치가 급격히 떨어지기 때문에 분산전원 출력단의 전압 크기를 기준으로 단독운전을 판단하였다. 그러나 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우에는 전압의 크기가 감소하지 않으므로, 전압 크기만을 가지고 단독운전을 판단하는 기존의 수동적인 단독운전 검출 기법으로는 단독운전을 판단하기 어렵다. 그러나 단독운전 시 분산전원의 발전량과 담당 부하량이 비슷하다라도 연계시의 부하 구성과 단독운전시의 부하 구성이 달라지게 된다. 이러한 부하 구성의 변화를 이용하면 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우에도 검출이 가능하기 때문에 본 논문에서는 전압 불평형 변동률을 이용하여 이들의 변화를 측정하였다[3]. 그리고 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우에만 제안한 알고리즘이 동작하도록 하기 위하여 유효전력 변동률을 함께 고려하였다. 유효전력 변동률이 큰 경우에는 전압 불평형 변동률에 의한 단독운전 판단을 억제하도록 하였다.

전압 불평형 지수는 식 (1)과 같다.

$$VU_i = \frac{NS_i}{PS_i} \quad (1)$$

여기에서  $VU_i$ ,  $NS_i$ ,  $PS_i$ 는 각각 전압 불평형 지수, 역상전압의 크기, 정상 전압의 크기를 나타낸다[3]. 전압 불평형 지수 ( $VU_i$ )의 변화를 나타내기 위해 식 (2)에 전압 불평형 변동률( $\Delta VU_i$ )을 나타내었다.

$$\Delta VU_i = \frac{VU_i - VU_{i-16.7ms}}{VU_i} \times 100 \quad (2)$$

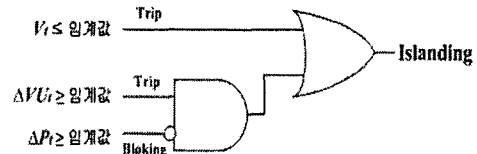
전압 불평형 변동률과 마찬가지로 분산전원의 유효전력( $P_i$ )의 변화를 나타내는 지표로서 유효전력의 변동률( $\Delta P_i$ )을 식 (3)에 나타내었다.

$$\Delta P_i = \frac{P_i - P_{i-16.7ms}}{P_i} \times 100 \quad (3)$$

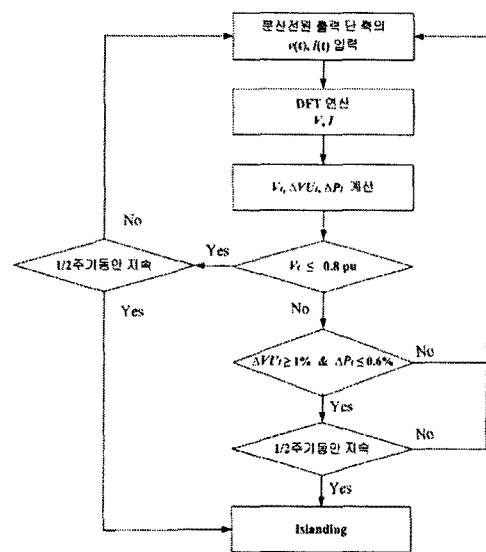
본 논문에서는 그림 1과 같은 형태의 단독운전 검출 알고리즘을 구현하였다. 그림 1에서  $V_i$ 는 전압의 실효치를 의미한다.

먼저, 단독운전 전후의 출력 변동이 큰 경우에 전압의 실효치가 임계값 이하로 1/2주기 이상 지속되면 트립신호를 발생시킨다. 이때 1/2주기는 단독운전이 아닌 순간적인 변화로부터 트립신호가 발생하지 않게 하기 위하여 소정기간을 둔 것이다. 그리고 분산전원의 단독운전 시 전압 불평형 변동률이 임계값 이상으로 변동하였을 경우 전압 불평형 변동률에 의한 트립신호가 발생한다. 여기서, 유효전력 변동률이 임계값 이하로 유지되는 것이 1/2주기 이상 지속되면 최종적으로 단독운전으로 판단하고 트립 신호를 내보내어 분산전원 전단의 차단기를 동작시킨다.

제안한 알고리즘의 흐름도를 그림 2에 나타내었다. 제안한 알고리즘의 전압 크기, 전압 불평형 변동률, 유효전력 변동률의 임계값을 각각 0.8 pu, 1%, 0.6%로 정하였다. 제안한 임계값은 분산전원 연계계통인 IEEE 34 버스의 부하 조건과 분산전원 운전 조건을 고려하여 정하였다. 임계값은 단독운전 판단 알고리즘의 민감도에 따라 조정이 가능하다.



<그림 1> 분산전원 단독운전 판단 논리회로

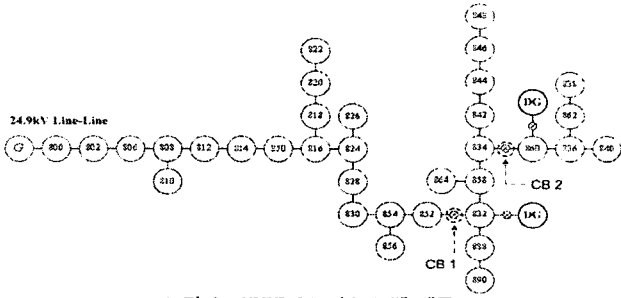


<그림 2> 분산전원 단독운전 판단 알고리즘의 흐름도

3. 사례 연구

3.1 모델계통

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 그림 3과 같이 IEEE 34 버스를 모델계통으로 선택하였으며, PSCAD/EMTDC를 이용하여 계통을 모의하였다. IEEE 34 버스에 연결된 부하는 평형부하와 불평형부하로 구성되었으며 분산전원은 경우에 맞게 계통의 버스에 1대만 연계시켜 모의하였다. 연계된 분산전원의 용량은 1 MW이다.



〈그림 3〉 IEEE 34 버스 모델 계통도

### 3.2 단독운전 전후의 출력 변동이 큰 경우

그림 4는 분산전원이 832번 버스에 연계되어 운전되고 있을 때, 1초에서 차단기 1을 동작시켜 단독운전 전후의 출력 변동이 큰 경우를 모의한 결과이다. 그림 4에서 보듯이 전압이 설정치 0.8 pu이하로 1/2주기 동안 지속되므로 제안한 알고리즘은 단독운전 이후 8.35 msec에서 단독운전을 판단하였다.

### 3.3 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우

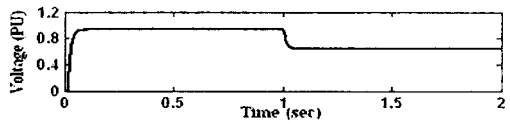
그림 5는 분산전원이 860번 버스에 연계되어 운전되고 있을 때, 1초에서 차단기 2를 동작시켜 단독운전 전후의 출력 변동이 작은 경우를 모의한 결과이다. 단독운전 전후의 출력 변동이 작으므로 전압, 진류, 위상 등 큰 변화가 발생하지 않았다. 그러나 부하구성이 변함으로 전압 불평형 변동률이 15.9%로 크게 증가하고, 반면 유효전력의 변동률이 0.57%로 작은 변화를 보이므로 제안한 알고리즘은 단독운전 이후 8.35 msec에 정확하게 분산전원의 단독운전을 검출 하였다.

### 3.4 정상적인 1상 부하 변동 시

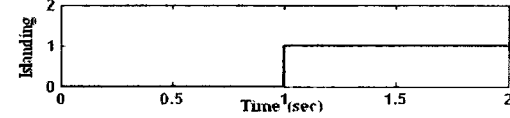
그림 6은 분산전원이 832번 버스에 연계되어 운전되고 있을 때, 1초에서 832번 버스 이하의 모든 1상 부하를 동시 제거했을 경우를 모의한 결과이다. 150 kW의 단상 불평형부하의 변동으로 전압 불평형 변동률은 단독운전이라고 판단을 하지만, 동시에 유효전력 변동률에 의한 블로킹신호가 발생하므로 최종적으로는 단독운전으로 판단하지 않았다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 단상부하들이 동시에 제거되더라도 전압 불평형 변동률, 유효전력의 변동률을 이용한 제안한 알고리즘은 정상적인 부하변동으로 판단하였다.

### 3.5 정상적인 2상 부하 변동 시

그림 7은 분산전원이 832번 버스에 연계되어 운전되고 있을 때, 1초에서 832번 버스 이하의 모든 2상 부하를 동시 제거했을 경우를 모의한 결과이다. 그림에서 보듯이 1상 부하 변동과 유사한 결과를 나타내었다. 300 kW의 2상 불평형부하의 변동으로 전압 불평형 변동률은 단독운전이라고 판단을 하지만, 동시에 유효전력 변동률에 의한 블로킹신호가 발생하므로 최종적으로는 단독운전으로 판단하지 않았다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 2상 부하들이 동시에 제거되더라도 제안한 알고리즘은 정상적인 부하 변동으로 판단하였다.

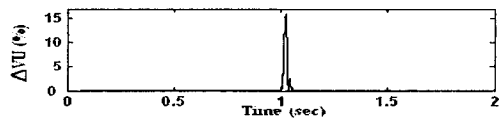


(a) 전압의 크기

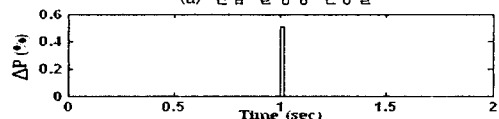


(b) 단독운전 판단신호

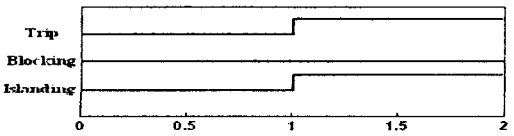
〈그림 4〉 단독운전 전후의 출력변동이 큰 경우



(a) 전압 불평형 변동률

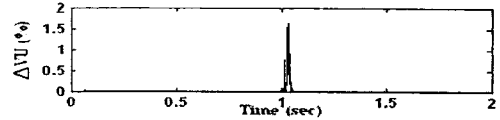


(b) 유효전력의 변동률

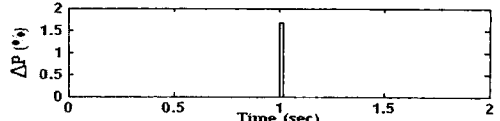


(c) 단독운전 판단신호

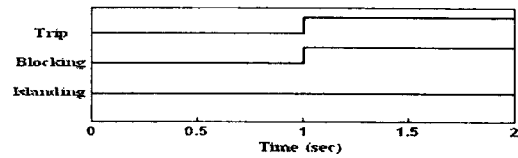
〈그림 5〉 단독운전 전후의 출력변동이 작은 경우



(a) 전압 불평형 변동률

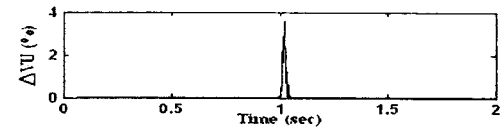


(b) 유효전력의 변동률

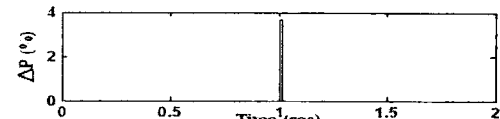


(c) 단독운전 판단신호

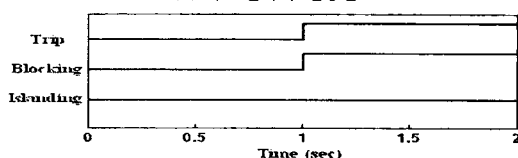
〈그림 6〉 계통의 1상 부하 변동 시



(a) 전압 불평형 변동률



(b) 유효전력의 변동률



(c) 단독운전 판단신호

〈그림 7〉 계통의 2상 부하 변동 시

## 4. 결 론

본 논문에서는 전압 불평형과 분산전원의 전력 변동을 이용한 분산전원의 단독운전 판단 기법을 제안하였다. 제안한 방식은 전압의 크기가 임계값 이하로 급격히 감소하거나 분산전원 출력단 측에서 계산된 전압 불평형 변동률이 임계값 이상으로 크게 변동하면서 유효전력의 변동률이 임계값 이하의 작은 값을 가지면 분산전원이 단독운전하고 있다고 판단하는 방식이다.

사례연구를 통하여 단독운전 전후에 출력 변동이 큰 경우와 작은 경우, 단독운전이 아닌 1상, 2상 부하 변동의 경우에 대해 제안한 분산전원 단독운전 판단알고리즘의 성능을 검증하였다.

제안한 방식을 적용하면 단독운전 전후에 출력 변동이 작은 경우에도 분산전원의 단독운전을 판단할 수 있을 뿐 아니라 정상적인 계통의 1상, 2상 부하의 변동 시에도 분산전원의 단독운전과 정확히 구분하여 오동작을 예방할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

### [참 고 문 헌]

- [1] J. W. Marin, "Loss of mains protection," in Proc. ERA Conf. Circuit Protection Industrial Commercial Inst., London, U.K., 1990.
- [2] P. O. Kane and B. Fox, "Loss of mains detection for embedded generation by system impedance monitoring," in Inst. Elect Eng. Conf. Developments in Power System Protection, Aberdeen, U.K., 1990.
- [3] S. I. Jang and K. H. Kim, "An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion of current," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, pp. 745-752, April, 2004.
- [4] W. H. Kersting, "Radial distribution test feeders," IEEE Trans. Power Syst., vol. 6, pp. 975-985, Aug. 1991.