

**분산전원을 고려한 재폐로 기법**

서훈철, 김철환  
성균관대학교

**A Reclosing Technique considering the Distributed Generation**

Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - This paper presents the reclosing algorithm considering the DG(Distributed Generation). The algorithm consists of angle oscillation's judgment, EEEAC(Emergency Extended Equal-Area Criterion), calculation of optimal reclosing time and reconnection algorithm. The simulation is implemented for the three different DG technologies by using EMTP MODELS.

같다.  $\Delta$ 는 0에 가까운 매우 작은 값이다.  $\epsilon_1$ 과  $\epsilon_2$ 는 현재 샘플에서의 상차각과 이전 샘플에서의 상차각의 차이가 각 조건에 대하여 일정시간 이상 유지되는지 확인하기 위한 최소값이다. 본 논문에서는  $\Delta$ 는 0.01,  $\epsilon_1$ 과  $\epsilon_2$ 는 24로 설정하였다.

**1. 서론**

배전계통에서 열병합발전, 태양광발전, 풍력발전 등의 분산전원의 사용이 점점 늘어나고 있다. 분산전원의 사용에 따라 기존 배전계통의 전력품질 및 신뢰도 저하, 보호협조, 안정도 등과 같은 계통 운영상의 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제 중 과도 불안정으로 인한 계통의 손상을 막기 위한 가장 기본적인 방법은 고장의 신속한 검출 및 차단이며, 그 다음으로 재폐로를 수행하는 것이다. 분산전원의 존재는 기존 배전계통에서의 재폐로에서 발생하지 않는 새로운 문제를 만들 수 있다. 분산전원으로 인하여 계통이 외란에 견디지 못하고 불안정해지기 쉽다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 참고 문헌 [1-2]에서는 고장 발생 시 분산전원을 즉시 계통에서 분리하고 계통 이상을 복구하여야 한다고 제시하고 있다. 그렇지만, 계통 이상이 발생할 때마다 분산전원을 분리한다면 분산전원의 장점을 활용하지 못하는 것이고, 고장으로 인한 분산전원의 연속된 분리와 재병입은 계통에 또 다른 충격을 가할 수 있으며 이로 인하여 분산전원이 효율적으로 운영되지 못할 수 있다. 따라서, 분산전원을 장점을 최대한 활용할 수 있으며, 계통이 불안정해지는 것을 막기 위한 재폐로 기법이 필요하다.

본 논문에서는 분산전원을 고려한 재폐로 기법을 제시하였다. 제시된 기법은 상차각의 동요 여부 판단, EEEAC, 최적 재폐로 시간, 분산전원의 계통 재병입의 4개의 블록으로 구성되어 있다. 또한, 본 논문에서는 제시된 재폐로 기법을 3가지의 분산전원 기술(동기발전기, 유도발전기, 전력전자기기를 통한 연계)에 대하여 EMTP를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 검증하였다. 시뮬레이션 결과 계통의 과도 안정도를 유지할 수 있으며, 분산전원을 외란으로부터 보호할 수 있다는 것을 확인하였다.

**2. 본론**

**2.1 분산전원을 고려한 재폐로 기법**

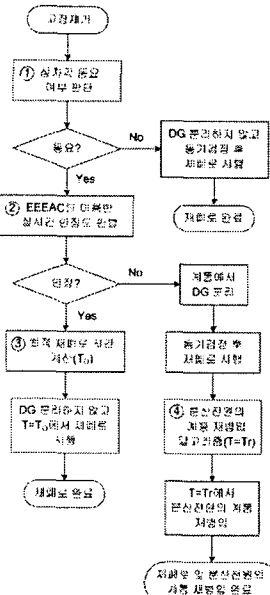
본 논문에서 제안하는 분산전원을 고려한 재폐로 기법의 순서도는 다음 그림 1과 같다.

전력계통 과도 안정도에 대한 분산전원의 영향은 분산전원의 연계 기술에 따라 다르게 나타난다. 동기발전기의 경우 계통의 과도 안정도에 커다란 영향을 미치며, 유도발전기 및 전력전자기기를 이용하는 경우 큰 영향을 미치지 않는다[3]. 따라서, 동기발전기의 경우만 과도 안정도를 평가할 필요가 있으며, 유도발전기의 경우와 전력전자기기를 통하여 계통에 연계된 경우는 과도 안정도에 크게 영향을 미치지 않으므로 과도 안정도를 평가할 필요가 없다. 따라서 과도 안정도 평가의 필요 여부를 우선 결정해야 한다. 만약, 안정도 평가가 필요하지 않다면 분산전원은 유도발전기 혹은 전력전자기기를 통하여 계통에 연계된 경우로서 과도 불안정으로 인하여 계통 및 발전기가 손상을 입지 않을 것이므로 재폐로를 시행하기 이전에 분산전원을 분리할 필요가 없다. 안정도 평가가 필요하다면, 분산전원은 동기발전기로서 만약 안정도 평가 결과 불안정으로 인하여 동기가 유지되지 못한다면 계통 및 발전기가 손상되기 때문에 재폐로를 시행하기 이전에 발전기를 명백하게 분리하여야만 하고 재폐로가 성공한다면 분산전원을 계통에 재병입하여야 한다. 안정도 평가 결과 안정하다면 재폐로 시행 이전에 분산전원을 분리할 필요가 없다.

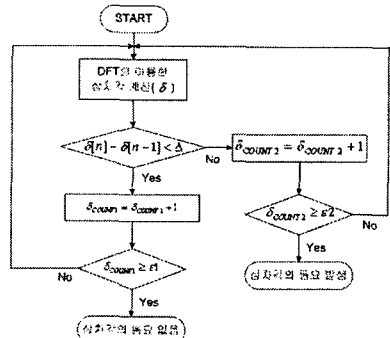
분산전원을 고려한 재폐로 기법은 "①상차각 동요 여부 판단, ②EEEAC를 이용한 실시간 안정도 판별, ③최적 재폐로 시간 계산, ④분산전원의 계통 재병입 알고리즘"의 4개의 블록으로 구성되어 있다. 블록 ②와 블록 ③은 참고문헌 [4]에 제시되어 있으며, 나머지 블록은 다음과 같다.

**2.1.1 상차각 동요 여부 판단**

상차각의 동요 여부는 현재 샘플에서 계산한 상차각과 이전 샘플에서 계산한 상차각의 차이를 이용하여 판단할 수 있다. 그 차이가 일정시간 이상 매우 작은 값으로 유지된다면 상차각의 동요가 없는 것으로 판단할 수 있고, 그렇지 않다면 상차각의 동요가 있는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 방법을 이용한 상차각 동요 여부 판단 알고리즘의 순서도는 다음 그림 2와



〈그림 1〉 분산전원을 고려한 재폐로 기법의 순서도



〈그림 2〉 상차각 동요 여부 판단 알고리즘의 순서도

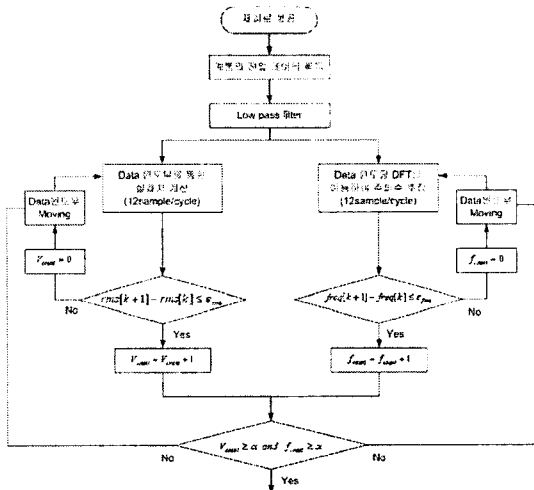
**2.1.2 분산전원의 계통 재병입 알고리즘**

계통이 불안정하게 될 것으로 추정되어 분산전원을 계통에서 분리한 후 재폐로 할 경우 재폐로가 성공하면 분산전원을 계통에 재병입을 할 필요가 있다. 만약 계통에 재병입하지 않는다면 분산전원이 연계된 경우에 비하여 전력품질 문제(voltage sag), 보호측면 등 여러 가지 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 고장 발생 후 재폐로를 위하여 만약 분산전원을 분리하였다면, 재폐로 성공 후 분산전원을 계통에 재병입하여야 한다. 이에 대하여 참고문헌 [5]에서 다음과 같이 규정하고 있다.

- 계통에서 이상이 발생하여 전력계통을 정상으로 복구한 후, 전력계통의 전압과 주파수가 정상상태로 5분간 유지되지 않는 한 분산형 전원 발전설비를 다시 계통에 연결하여서는 안 된다.

이러한 규정을 바탕으로 본 논문에서 제안한 분산전원의 계통 재병입 알

고리점은 다음 그림 3과 같다. 계통의 순시차 전압을 토대로 실효치 전압을 계산한다. 계산된 현재 sample에서의 rms 값과 그 이전 sample에서의 rms 값의 차이를 구한다. 주파수의 경우 계통 주파수 추정을 위하여 DFT를 이용한다. 주파수 추정 후 현재 sample에서의 주파수와 그 이전 sample에서의 주파수의 차이를 구한다. 전압 및 주파수의 현재 sample과 이전 sample에서의 값의 차이가 충분히 작은 상태로 어느 일정 sample 만큼 지속된다면 정상상태로 간주할 수 있다.



〈그림 3〉 분산전원의 계통 재병입 알고리즘의 순서도

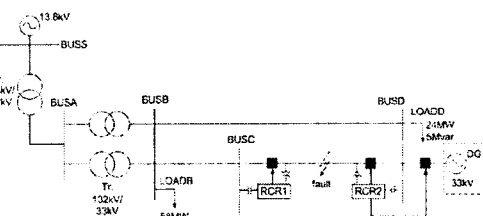
그림 3에서 알 수 있듯이 샘플간의 값의 차이가 일정한 상태로 유지되는가 확인하기 위하여 count를 계산한다. 여기서 count는 샘플 수로 간주할 수 있고, 5분간 정상상태로 유지되는가 확인하기 위해서는  $\alpha$  에 5분의 해당하는 샘플 수인 216,000을 대입하면 된다.

## 2.2 시뮬레이션

### 2.2.1 모델 계통

시뮬레이션을 위한 계통 모델은 그림 4와 같고, 분산전원의 위치는 모선 D로 가정하였다[6]. 고장은 2초에 발생하고 지속시간은 10cycle이다 또한, 고장 종류는 2선지락 아크고장이다.

분산전원 중 동기발전기는 EMTP의 Type 59 모델을 이용하여 모델링 하였으며, 정격 용량은 10MVA이고, 정격 선간 전압은 33kV이다. 또한, 유도발전기는 EMTP의 UM 모델을 이용하여 모델링 하였으며, 정격 용량은 3MVA이다. 그리고, 전력전자기기를 통하여 연계된 경우는 직류가 인버터를 통하여 교류로 변환된 후 변압기를 통하여 계통에 연계되도록 모델링 하였다.



〈그림 4〉 모델 배전계통

### 2.2.2 동기발전기

다음 그림 5(a)는 동기발전기가 안정을 유지하는 경우의 양 모선사이의 상차각의 변화이다. 2초에서 고장이 발생한 후 2.167초에서 고장이 제거되고, 상차각의 동요가 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 안정도를 판단한 후 재폐로를 시행하게 된다. EEEAC를 통하여 안정도를 판단한 결과 안정으로 판단되어 분산전원을 분리하지 않고 재폐로를 시행하게 된다. 재폐로는 최적 재폐로 시간인 약 2.9초경에 시행하게 된다. 재폐로 후 상차각은 다시 동요가 발생하지만, 점점 안정해지는 것을 확인할 수 있다.

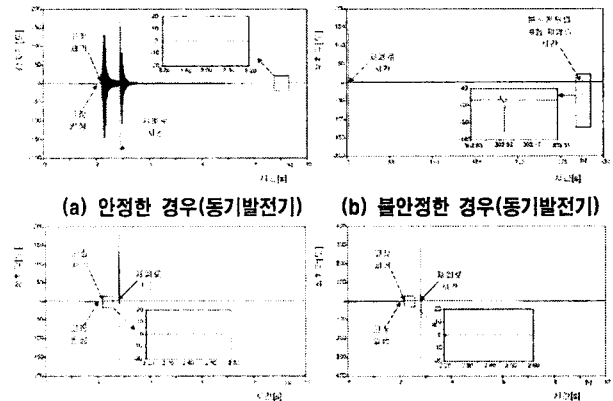
다음 그림 5(b)는 동기발전기가 불안정한 경우, 한국전력공사의 분산전원의 계통 재병입 규정과 같이 5분의 정상상태 지속시간을 확인하고 분산전원의 재병입을 시행한 경우 즉, 그림 3의  $\alpha$  에 216,000을 대입한 경우의 상차각의 변화이다. 2.167초에서 고장이 제거된 후 양모선 상차각의 동요가 발생하여 EEEAC를 통한 안정도 평가를 시행하게 되며, 그 결과, 불안정한 것으로 판단되어 분산전원을 분리한 후 2.95초 경에 재폐로를 시행하게 된다. 재폐로 후 전압과 주파수의 변화가 거의 없으므로 정상상태로 간주되어, 분산전원의 계통 재병입 알고리즘에 따라 그림 5(b)의 경우는 약 303초 경에 분산전원이 계통에 재병입 된다.

### 2.2.3 유도발전기

다음 그림 5(c)는 분산전원으로 유도발전기가 계통에 연계되어 있을 경우의 상차각의 변화이다. 2초에 고장이 발생한 후 10cycle 후에 고장이 제거된다. 고장이 제거되고 상차각의 동요가 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 분산전원은 분리되지 않고, 재폐로 알고리즘에 따라 고장 발생 후 약 0.8초 후에 재폐로가 시행된다. 재폐로 후 상차각의 동요가 발생하지만 약 2cycle 후 상차각의 동요는 없어지고, 계통은 안정을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

### 2.2.4 전력전자기기를 통하여 계통에 연계된 경우

다음 그림 5(d)는 분산전원으로서 직류 발전이 전력전자기기를 통하여 계통에 연계된 경우의 상차각의 변화이다. 2초에서 고장이 발생하고, 10cycle 후에 고장이 제거된다. 고장이 제거된 후 그림 5(d)에서 알 수 있듯이 상차각의 동요가 없는 것을 알 수 있다. 따라서, 분산전원은 분리되지 않고 재폐로 알고리즘에 따라 고장이 발생하고 0.8초 후에 재폐로가 시행된다. 재폐로 시행 후 상차각의 동요가 있지만 약 2cycle 이후 상차각의 동요는 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 계통은 계속적으로 안정을 유지하는 것을 알 수 있다.



(a) 안정한 경우(동기발전기) (b) 불안정한 경우(동기발전기)  
(c) 유도발전기 (d) 전력전자기기를 통한 연계  
〈그림 5〉 각 분산전원 기술에 따른 재폐로 시 상차각의 변화

## 3. 결 론

본 논문에서는 분산전원을 고려한 재폐로 기법을 제시하였다. 동기발전기에 기반을 둔 분산전원의 경우 상차각의 동요가 발생하므로 과도 안정도의 판단이 필요하다. 안정도를 판단하여 안정한 경우에는 분산전원을 분리할 필요가 없으며, 최적 재폐로 시간에 재폐로 함으로서 과도 안정도 또한 향상시킬 수 있었다. 불안정한 경우, 분산전원을 분리한 후 성공적으로 재폐로가 시행됨을 시뮬레이션 결과 확인할 수 있었다. 또한, 분산전원의 계통 재병입 알고리즘에 따라 성공적으로 분산전원이 계통에 재병입 되는 것을 확인할 수 있었다. 유도발전기와 전력전자기기를 통하여 계통에 연계된 경우, 상차각의 동요가 없으므로 분산전원을 분리하지 않고 재폐로를 시행하였으며, 재폐로 후 계통은 안정을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 배전계통에서 분산전원의 연계 시 본 논문에서 제안한 분산전원을 고려한 적용 재폐로 알고리즘에 따라 재폐로를 시행한다면, 외란 발생 시 무조건 분산전원을 분리한 후 재폐로 할 필요가 없으므로, 분산전원의 안정을 유지할 수 있을 것이다. 또한, 외란에 따른 계통 불안정으로부터 분산전원을 보호할 수 있으므로 더욱 효율적이고 신뢰성 있는 분산전원 운용을 기대할 수 있을 것이다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] "IEEE Guide for Automatic Reclosing of Line Circuit Breakers for AC Distribution and Transmission Lines", IEEE Power Engineering Society.
- [2] L. K. Kumpulainen, K. T. Kauhaniemi, "Analysis of Impact of Distributed Generation on Automatic Reclosing", Power Engineering Society Winter Meeting, 2004 IEEE PES, Vol. 1, pp.603-608.
- [3] J.G. Sloopweg, W.L. Kling, "Impacts of Distributed Generation on Power System Transient Stability", Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE, Vol. 2, pp.862-867.
- [4] 허정용, 김철환, "송전선로의 과도 안정도를 고려한 적용 자동재폐로 기법", Trans. KIEE, Vol. 52, No. 12, pp.698-704, Dec. 2003.
- [5] 유기갑, "분산형전원 계통연계 기술기준(안)", 전기의 세계, Vol.54, No.3, pp.38-43, 2005
- [6] S.M. Yeo, C.H. Kim, "Analysis of System Impact of the Distributed Generation using EMTP with Particular Reference to Protection Strategies", IFAC Symposium on Power Plants & Power System Control, Korea, pp.897-902, Sep. 2003.