

## 분산전원용 계통연계 기술개발동향

차지훈, 최규영, 강현수, 이병국  
성균관대학교 정보통신공학부

### Technique Development Tendency for Channel Connection of Distributed Generation

Ji-Hoon Cha, Gyu-Yeong Choi, Hyun-Soo Kang, Byoung-Kuk Lee

School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract** - 본 논문에서는 분산전원을 배전계통에 연계할 때 지켜야 할 계통연계기준과 분산전원의 전력계통연계기술 중 계통파의 동기화, 역조류, 단독운전 방지에 대한 현재 기술개발동향을 알아보고 상세히 분석하였다.

#### 1. 서 론

현대사회가 경제성장과 더불어 급격한 고도화·정보화 사회로 변화됨에 따라, 수용가는 보다 안정적이고 좋은 품질의 전력 공급을 요구하고 있다. 인구 증가에 따라 에너지 소비가 급증하고 있어 이에 가장 적절한 해결 방법이 될 수 있는 분산전원에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 배전시스템에 연계되어 운용되는 분산전원은 집중적이고 소용량의 전력저장 시스템이나 발전시스템을 일컫는 말로서 그 형태가 태양광, 연료전지, 풍력, 열병합 등 환경 친화적인 소규모의 시스템이기 때문에 대용량의 전원(화력, 수력, 원자력 등)에서 발생하는 많은 문제를 해결할 수 있으리라 보여진다. 분산전원은 배전시스템에 연계되어 운전되거나, 배전시스템의 사고시 단독으로 부하에 전력을 공급하도록 운전되며, 부하의 급격한 변화에 대해서도 우수한 특성을 갖도록 요구된다[1].

분산전원의 전력계통 연계는 전압유지, 손실감소, 용량 증가, 신규기반시설 투자비용억제 및 계통신뢰성 증대 등의 장점이 많다. 하지만 다른 한편으로는 전압조정, 전압변동 따른 폴리커, 고조파 생성과 수요 측 부하로부터의 역조류와 단독운전과 같은 문제점을 가지고 있어 이에 대한 연구가 필요한 상황이다[2]. 또한 분산전원의 전력 계통연계에 대한 기준과 평가절차 확립이 매우 중요하다. 이에 따라 본 논문에서는 분산전원의 계통연계에 관한 기준을 살펴보고 분산전원의 전력계통 연계기술 중 1) 분산전원과 계통파의 동기화 2) 부하로부터 계통으로의 역조류 3) 분산전원의 단독운전 방지에 대한 현재 기술개발동향을 알아보고 분석하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 분산전원의 계통연계기준

분산전원을 효과적으로 사용하기 위해서는 계통연계가 필수적이다. 잉여전력이 발생하였을 때 계통으로 잉여전력을 송전하는 것이 더 경제적이며 기후 상황에 따라 지속적인 운전을 보장할 수 없어서 계통측으로부터 전력을 공급받아야 하는 상황이 발생하기 때문이다. 하지만 기존의 배전계통의 전력조류는 변전소에서 수용자를 위한 단방향이며 이것을 기반으로 계통운영이 이루어지고 있으나, 분산전원이 연계되는 경우에 배전계통에 역방향 및 양방향의 전력조류가 형성되므로 기존의 보호시스템의 신뢰성이 저하될 수 있으며 전력품질저하도 초래할 수 있다. 따라서 연계의 장점을 살리면서 단점을 최소화는 방안이 필요하다. 이러한 방안을 체계적으로 정리한

것이 계통연계에 관한 기준이다. 여기서는 분산전원의 계통연계에 관한 국내 기준을 전압변동, 동기운전, 주파수등의 검토해야 할 중요한 항목별로 알아보았다[3][4].

첫째로 전압변동(분산형전원 계통연계 기술기준(안))이다

(1) 저압 배전선로 연계

- 분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 저압 계통의 상기 전압변동(10분 평균값)은 3[%]이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 4[%]로 한다.

(2) 특고압 배전선로 연계

- 분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상기 전압변동(10분 평균값)은 2[%]이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 2[%]이하로 한다.

둘째 동기운전(분산형전원 계통연계 기술기준(안))이다.

(1) 분산형 전원 발전설비는 연계하고자 하는 지점의 계통전압이 ±4[%]이상 변동되지 않도록 계통에 병렬로 연계하여야 한다. 분산형 전원 발전설비의 계통연계 병렬장치를 투입하는 순간, 분산형 전원 발전설비와 연계하고자 하는 전력계통 사이의 주요제한 변수가 범위 제한 기준 이하이어야 한다.

셋째 주파수(전자사업법 시행규칙[7])이다.

(1) 신·재생 에너지원의 발전설비의 주파수는 연계할 배전계통과 동일하여야 한다.

표 1 표준주파수

표준주파수	허용오차
60Hz	60Hz 상하로 0.2Hz이내 (60±0.2Hz)

##### 2.2 분산전원과 계통파의 동기화

분산전원에서 발전된 직류전기를 배전선에 연계하기 위해서 인버터(DC/AC전력변환장치)를 필요로 한다. 인버터는 일반 전기 기기를 사용할 수 있도록 직류 출력을 상용 주파수의 교류로 변환하는 것으로 계통품질의 유지를 위해 낮은 왜율과 전압의 크기, 위상 및 주파수가 일치해야 한다.[5] 또한 인버터 출력전류와 계통선 전류의 위상을 동기화시켜 부하에 동일한 위상의 부하전류가 공급되도록 하여야 한다. 이를 위해 부하 종류에 따라 변화하는 부하전류의 위상에 인버터 출력전류의 위상을 동기화 시키므로써 인버터 출력전류, 계통선 전류 및 부하전류의 위상 모두를 동기화 시킬 수 있다.[6]

##### 2.2.1 동기화의 방법

분산전원에서 발전된 직류전기를 인버터를 통해 교류전기로 변환하고 이를 전력계통과 연계하기 위해서는 인버터 출력전압과 전력계통전압을 동기화 하여야 한다. 이를 위해 인버터 출력전압과 계통전압의 정현파를 위상비교기로 검출한다. 이를 영교차 검출기에 구형파로 변환하여 위상차를 검출하여 위상차가 "0"이 될 때까지 인버터 출력전압을 제어한다.

전압의 동기화와 마찬가지로 계통연계를 하기 위해 인버터 출력전류와 계통선 전류, 부하전류를 위상비교기를 통해 검출하고, 이를 위상검출기로 비교하여 위상차가 "0"이 될 때까지 전압의 동기화와 마찬가지로 인버터 출력전류를 제어한다[7].

### 2.3 역조류

종래의 배전계통에 있어서의 전력조류는 변전소에서 부하를 향한 단방향이었지만, 분산전원이 연계된 배전계통의 경우에는 그 출력용량의 여부에 따라 양방향의 전력조류가 발생할 가능성이 있어, 계통운용상 여러 가지의 문제점이 발생할 수 있다. 분산전원에 대규모전원의 보완적 역할과 배전선로 상의 일부 부하를 담당하는 역할을 부과하여 활용하기 위해서, 분산형전원으로부터 배전계통에 전력을 공급하는 역조류의 기능을 허용할 필요가 있다. 전력조류가 단방향일 경우는 부하의 변동에 의해 배전선에 흐르는 전류가 변화해 전압이 변동하더라도, 전압은 변전소 인출부로부터 배전선말단을 향해 단조감소하기 때문에 선로의 전압조정은 LDC(Line Drop Compensation)방식 및 주상변압기의 램선택 등에 의해 비교적 쉽게 수행될 수 있다. 그러나, 배전선로의 도중에 분산형전원이 도입되어 계통으로의 역조류가 발생하게 되면 연계지점의 전압이 높아져 배전선로상의 전압분포는 단조감소의 형태만으로는 되지 않는다. 이 상태에서는 기존의 전압제어방식으로는 적정전압조정능력을 상실하게 된다. LDC전압조정방식이외의 프로그램전압조정방식 및 (LDC+프로그램) 전압조정방식의 경우도 선로에 도입된 분산형전원 전체의 연계위치와 정확한 개별운전 상태를 시시각각 파악하지 않고서는 적정한 전압조정을 수행할 수 없게 된다. 특히, 태양광발전이나 풍력발전 등과 같은 분산형전원에서는 발전량의 변동을 미리 예측할 수 없기 때문에 더욱 전압조정이 어렵게 된다. 이와 같은 문제는 배전선로에 연계되는 분산형전원의 도입용량을 제한함으로써 어느 정도 대처가 가능하지만, 이는 분산형전원의 보급에 저해요인으로서 나타나기 때문에 규제를 완화할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.

### 2.4 단독운전 방지

#### 2.4.1 단독운전 인지법

분산전원의 단독운전은 배전설비의 손상, 선로 유지 및 보수자 감전사고 우려가 있으므로 단독운전현상을 명확하게 인지하여 시스템을 정지시켜야 한다.

계통연계형 분산전원의 단독운전 방지를 위한 방법은 크게 수동적 인지법과 능동적 인지법으로 나눌 수 있다.

수동적 인지법은 단독운전 시 발생하는 전압, 주파수 변화를 관찰하여 허용범위를 벗어나면 단독운전 상태로 판단하는 방법으로, 전압/주파수 인지법, 위상 점프 인지법, 주파수 변화율 측정법, 고조파 인지법 등이 있다. 능동적 인지법은 시스템 출력전압 및 전류에 변동을 주어 단독운전을 인지하도록 하는 방법으로, 주파수 바이어스법, 고조파 첨가 인지법, 출력전압 변동법등이 있다. 대표적인 단독운전 인지법은 표2에 표시하였다.

#### 2.4.2 단독운전 인지법 적용시 문제점

위의 단독운전 인지법을 적용하였을 때 발생하는 문제점들은 침투율, 평준화효과, 고조파원 문제등이 있다. 침투율은 분산전원의 발전 용량이 계통 용량에서 차지하는 비율이다. 일반적인 계통연계형 분산전원은 매우 큰 계통과 연계되어 있으므로 침투율은 매우 낮다. 그러나 분산형 전원의 사용이 늘어남에 따라 침투율이 커지고, 고립된 지역에서는 계통 전체 용량이 작기 때문에 분산전원이 차지하는 비율이 커서 침투율이 큰 편이다. 침투율이 커질수록 상용계통에 연결되어 있을 때와 차단되어 있을 때 분산전원이 담당하는 부하에 변화가 적기 때문

에 단독운전 인지가 어렵다. 그러므로 단독운전 인지법을 적용할 때, 침투율에 대한 고려를 해야 한다.

평준화 효과는 능동적 인지법을 사용하는 분산전원간의 상호 간섭으로 인한 영향이다. 예를 들어 동일한 전력을 발생시키는 두 개의 시스템 A와 B가 모두 전력변동법을 사용하는 경우, A에서 전력공급을 10% 증가시키고 B가 전력공급을 10% 감소시키면 그 합은 0%가 되어 단독운전 상태가 되더라도 분리된 배전선의 전력변화는 사라지게 된다. 따라서 능동적 인지법을 사용하여 단독운전 상태를 인지하고자 하는 경우, 평준화 효과에 대한 검토를 해야 한다.

계통연계형 시스템에 능동적 인지법을 적용할 때의 가장 큰 문제는, 단독운전 인지법을 자체가 계통의 신뢰성에 영향을 주는 고조파원이 된다는 것이다. 단독운전 인지 감도를 높이려면 단독운전시 왜곡률을 더 크게 해 줄 수 있는 방법이 요구되나, 계통의 신뢰성에 미치는 영향은 더 커지게 된다. 따라서 능동적 단독운전 인지법을 적용할 경우 계통의 신뢰성을 고려해야 한다[8].

표 2 대표적인 단독운전 인지법

과전압/저전압 인지법	-기본적인 인지법 -가장 단순하게 적용 가능 -protection으로도 사용 가능
고주파/저주파 인지법	-기본적인 인지법 -주파수를 측정한 정도의 시스템 사양만 요구 -protection으로도 사용 가능
주파수 변화율 측정법	-주파수를 계산/저장할 수 있을 정도의 시스템으로 적용이 가능 -간단하면서 인지 감도가 높음
고조파 인지법	-능동적 인지법과 병행시 인지감도를 가장 크게 향상시킴
주파수 바이어스법	-주기적 변동을 주어야 하므로 평균인치시간이 길다
고조파 첨가 인지법	-비교적 간단하게 DSP보드의 프로그램 수정만으로 적용 가능
출력전압 변동법	-THD, 주파수, 위상등에 영향을 주지 않음

### 3. 결 론

본 논문에서는 분산전원의 전력계통에 연계시 계통연계 기준에 대해 알아보았고 계통연계기술 중 분산전원과 계통과의 동기화, 역조류와 단독운전방지에 기술 동향을 분석하였다. 이로써 본 논문은 분산전원의 계통연계 시기초자료로 활용이 가능하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 박준식. [분산전원의 계통연계 운전 특성 분석]. 강원대학교 석사학위논문, 2001. 2
- [2] 박지웅. [분산전원의 모델링 및 계통 연계에 따른 전력품질의 분석]. 성균관대학교 석사학위논문, 2003. 4
- [3] 서종민. [신재생에너지 계통연계기준과 계통연계체계분석]. 전남대학교 석사학위논문, 2007. 2
- [4] 윤기갑, "신재생에너지의 계통연계기술", 한국전기공사협회
- [5] 안교상, 임희천, 황인호, "3상 계통연계형 태양광발전 시스템의 출력특성", 대한전기학회 논문집 2000.
- [6] 천희영, 박귀태, 유지윤, 안호균, "인버터 시스템과 상용전력계통과의 병렬운전에 관한 연구", 전기학회논문집 41권 4호, pp.369~370 1992.
- [7] 천희영, 박귀태, 유지윤, 안호균, "인버터 시스템과 상용전력계통과의 병렬운전에 관한 연구", 전기학회논문집 41권 4호, p.373, 1992.
- [8] 정진범. [계통연계형 태양광 발전 시스템의 부하 무효전력 보상이 적용된 새로운 단독운전 방지 기법]. 한양대학교 석사학위논문, 2007. 2