

**분산형전원의 배전계통연계에 따른 기술적 과제와 대책**

윤기갑\*, 윤태상\*, 노환래\*, 박창호\*, 김준오\*, 김재성\*\*  
 \*한전 전력연구원, \*\*한국전력공사

**Technical Problems and solution based on Connection of Dispersed Power System into Power Distribution System**

G.G. Yoon\*, T.S. Yoon\*, H.N. Roh\*, C.H. Park\*, J.O. Kim\*, J.S. Kim\*\*  
 \*Korea Electric Power Research Institute, \*\*KEPCO

**Abstract** - Electric power has traditionally been supplied to the demander through power generation, its transmission, and final distribution system. It is, however, expected that the various dispersed power system will be located near demanders and act as a power source based on the efficient management of electric power demanders and the optimal utilization of substitute energy. More stable electric power and efficient utilization of various power sources can be guaranteed through the connection of the dispersed power system into the existing power system. It is the purpose of this study that, in the case of the connection of dispersed power system into the existing distribution line, effects of the connection on the power quality and plans for protection of power equipments are discussed and solutions of them are proposed.

**1. 서 론**

분산형전원(Dispersed Generation System)은 일반적으로 분산하여 배치되는 소규모전원을 말한다. 넓은 의미로는 소수력, 디젤엔진등의 원동기를 이용한 코제네레이션시스템(열병합발전시스템)도 여기에 포함이 되지 만 보통 연료전지발전, 태양광발전등 소위 신형전원의 분산전원을 말한다. 최근 원자력, 화력, 수력등의 기존 대규모전원은 입지나 이산화탄소 배출, 공해문제등 각종 제약이 많아 신설 및 증설이 점점 곤란해지고 있다. 또한 시설을 계획하여 실제 적용되기까지 장기간이 소요되며 전력수요의 변화에 유연하게 대응할수 없는점이 있으며 한편, 분산형전원은 전력수요지의 근방에 설치되기 때문에 장거리송전선이 중간에 필요없게 되어 송전비용 및 송전손실이 감소하게 되고 소규모전원이기 때문에 건설에 요하는 기간도 짧게된다. 또한 수요의 변동에 적응성이 있고 열병합이 가능하게 되어 에너지의 효율향상이 기대되며 태양광발전이나 풍력발전에 있어서는 자연에너지를 사용하기 때문에 공해문제를 피할 수 있는 등의 잇점이 있다. 도입의 형태로보면 자연에너지 발전에 있어서는 주택지역에서의 태양광발전, 교외지역에서의 풍력발전 및 소수력발전이 있으며 도시주변지역에서는 미이용에너지의 활용측면에서 폐기물발전 및 바이오매스 발전이 도입될 전망에 있다. 회전기를 이용한 코제네레이션이나 연료전지발전을 이용한 열병합발전은 도심지 복합건물의 업무용수용가 단위에 도입되고 있지만 마이크로 가스터빈이나 고체고분자 연료전지의 민생용 수용도 머지않아 도입이 예상된다.

자연에너지 발전의 경우에는 출력이 기상조건등에 좌우되어 불안정하기 때문에 기존의 배전계통과 연계하여 발전출력이 모자라는 경우에는 계통측에서 전력을 공급받고, 남는경우는 계통측에 여유전력을 송출하여 에너지

의 유효이용을 도모할 수 있다. 또한 코제네레이션의 경우도 계통에 연계하여 전력부하나 열부하의 변동이 있어도 안정한 운전을 하여 효율좋은 운전이 가능하다. 전력계통측면에서보면 연계된 분산전원으로 피크부하시 전력의 일부를 조달하여 피크컷트등 부하평준화 효과를 꾀할 수 있다. 분산전원을 도입하기 위해서는 분산형전원 코스트다운, 규제완화 및 정부에서의 각종 도입촉진책 및 여유전력의 판매 메뉴의 제정등이 선행되어야 할 것이다. 본 논문에서는 분산형전원이 배전계통에 연계시에 전력계통측 및 분산형전원측에서 각각 고려해야될 사항에 대한 문제점 및 기술적과제에 대하여 논하고자한다.

**2. 본 론**

**2.1 분산전원의 계통연계형태**

분산형전원의 연계형태는 발전전력의 형태에 따라서 최종적으로 전력계통에 연계될 때 형태가 결정된다. 일반적으로 전력계통측에서 볼 경우 회전기계의 교류발전기로 연결하는것과, 정지형의 직교류변환기(인버터)를 이용하여 연계하는 것으로 나눌수 있다. 상세히 분류하면 교류발전기에는 유도발전기와 동기발전기가 있고, 인버터에는 타여자방식과 자여자방식이 있다. 또 자여자방식은 전압형과 전류형으로 나누어지며 전압형에는 전압 제어형과 전류제어형으로 분류할수 있다. 일부는 교류발전기의 출력을 한번 직류로 변환하여 인버터를 이용하여 연계하는 경우도 있다. 교류발전기와 인버터의 계통연계상의 차이점을 표1에 나타내었다.

표1 교류발전기와 인버터의 계통연계상의 차이

계통연계 형태	교류발전기	인버터
연계장치 종류	동기발전기 유도발전기	자역식 인버터 타역식 인버터
역률조정 능력	동기발전기 : 있음 유도발전기 : 없음	자역식 : 있음 타역식 : 없음
고조파발생	없음	있음(인버터, 다상화, 고주파화 등으로 대차)
기동전류	동기발전기 : 자동동기점정 장치로 과전류방지 유도발전기 : 정격전류의 수배의 과전류 발생	자역식 : 제어계의 동기점정으로 과전류방지 타역식 : 소프트 스타트를행하여 과전류억제
계통사고시 전류	정격전류의 수배	정격전류의 2배이하로 억제
보호기능	외부에 보호계전기 설치필요	인버터의 내장보호 이용 가능

계통에 연계를 할 때에 이러한 차이점을 이해할 필요가 있으며 역조류가 있는 경우와 역조류가 없는 경우도 계통연계의 조건에 중요한 고려사항중의 하나이다. 역조류가 없는 경우는 분산형전원을 설치하고있는 수용가구내에서 분산형전원의 발전전력을 소비하고 전력계통으로는 여유전력을 송출하지 않는 경우를 나타내며 역조류가 있는 경우는 여유전력을 전력계통측으로 송출하는 경우에 해당한다. 풍력발전이나 폐기물발전의 경우는 상시에 발전전력을 송출하기 때문에 역조류가 있는 경우에 해당하며 주택설치용의 태양광발전이나 코제네레이션의 경우는 수용가구내에 설치되기 때문에 수용가 구내의 부하의 크기와 발전전력의 관계에 따라서 역조류가 발생하는 경우와 발생하지않는 경우의 양방향으로 생각해 볼수 있지만 조금이라도 역조류가 발생하는 경우에는 역조류가있는 조건을 고려할 필요가 있다. 역조류가 없는 경우는 전력계통측에서 어떤이상이 발생한 경우에 전압저하나 역전력의 발생을 검출하여 보호하는 것이 가능하지만 역조류가 있는 경우는 역전력의 검출에 의해 보호할수 없기 때문에 계통연계조건으로서 역조류의 유무를 고려하는 것이 중요하다. 또한 연계되는 계통의 형태에 따라 저압배전선연계, 특고압 배전선연계방식에 따라서 전기방식이나 배전선 접지구상등이 다르기 때문에 각각 다른 연계 보호장치가 필요하다.

## 2.2 배전계통연계시 과제 및 대책

배전계통에 분산형전원이 도입될 경우의 과제로는 우선 전력계통측에서와 분산전원의 측면으로 나눌수 있는데 전력계통측에서는 공급신뢰도의 확보, 전력품질의 확보, 안전의 확보와 설비의 안전이 요구되며, 분산형전원측에서는 안정운전이 요구된다. 표2는 이러한 각각의 요구에 대한 과제 및 대책에 대하여 나타내고 있다.

표2 배전계통에 있어서의 분산형전원 연계의 과제

전력계통측 및 분산형전원을 설치하지 않은 수용가로부터의 요구	공급신뢰도 확보(보호협조)	- 분산형전원의 내부사고, 고장의 연계계통으로의 파급방지 - 전력계통사고시에 분산형전원이 연계되고 있는 것에 따라 사고의 확대나 사고구간 이외에서의 전력공급장장의 방지 - 단락용량의 증대로의 대책등
	전력품질 확보	- 연계계통의 전압변동 억제 - 분산형전원으로 부터의 고조파전류 유출 억제 - 인버터 고조파 노이즈의 억제
	안전의 확보와 설비안전	배전계통 정지등에 분산형전원이 단독 운전 또는 역송전 하는 것을 방지
분산형전원으로부터의 요구	안정운전 확보	타 계통사고, 계통절체, 순시전압저하, 부하급변등에 대하여 운전을 계속하는 것

### 2.2.1 공급신뢰도의 확보

분산형전원측에서 사고가 발생한 경우 수용가내부의 과전류, 지락전류등을 검출하여 분산형전원을 전력계통으로부터 분리하고 사고가 전력계통에 파급되지 않도록한다. 또한 분산형전원의 제어회로에 이상이 생긴 경우 이에따른 전압이상(전압상승, 전압저하)을 검출하여 분산형전원을 전력계통측으로부터 분리할 필요가 있다.

전력계통에서 단락사고가 발생한 경우에는 계통단락으로인하여 발생하는 과전류 또는 전압저하를 검출하여 분

산형전원을 분리하는 것 보다 계통의 차단기를 개방한후에 분산형전원에 단락전류를 공급하여 사고확대가 되지 않도록할 필요가 있다. 단락전류검출에는 과전류와 전압저하의에 동기발전기의 경우 전력계통사고시에 분산형전원으로부터 유출하는 단락전류가 비교적 작기 때문에 통상의 과전류계전기 정정감도로는 검출되지 않는 경우가 있고 과전류계전기의 감도를 높게하면 부하전류등에 의해 오동작이 될우려가 있기 때문에 방향단락계전기를 설치하여 검출할 필요가 있다. 회전기의 경우는 분산형전원으로부터 공급되는 단락전류에 의해 계통으로 부터의 단락전류와 분산형전원으로 부터의 단락전류의 합이 차단기의 단락전류를 초과하게 되면 차단불능으로 되어 사고가 계속되며 이로인해 분산형전원으로 부터의 단락전류의 억제도 필요하다. 인버터의 경우는 단락전류를 억제하는 기능 또는 2배 정도의 과전류에 대하여 순시과전류보호가 동작되게 하기위해서는 단락용량의 증대에 거의 도움이 되지않는다. 이와 같이 공급신뢰도를 확보하기 위해서는 분산형전원에 보호기능을 설치하고 계통과 협조하여 사고파급의 확대를 방지할 필요가 있으며 그 정정치는 분산형전원의 안정운전확보를 고려하여 계통의 절체나 순시전압저하등의 계통측에서의 고란에 대하여 과민하게 응답하지 않도록 설정할 필요가 있다.

### 2.2.2 전력품질의 확보

전력품질 확보의 관점에서는 분산형전원의 계통연계에 의해 배전선 전압변동(상시 및 순시)의 억제와 인버터를 이용한 분산전원의 경우는 고조파전류의 유출억제가 필요하다.

분산형전원을 일반 배전계통에 연계하는 경우에는 연계에 의해 발생하는 전압의 변동이 크므로 수용가에서 전압의 적정치를 유지할수 없게될 가능성이 있다 수용가의 전압은 전기사업법상에 저압수용가의 공급전압은 표준전압을 유지할수 있도록 정하고 있다. 발전설비로부터의 역조류가 없는 경우는 계통으로부터 본 발전출력분 부하가 적은것에 해당하므로 종래의 전압관리로도 대처가 가능하지만 운전중의 발전기 고장등으로 인해 분리되면 부하가 많아지게 되어 전압저하가 발생하며 이경우에는 수용가 구내의 부하를 제한하여 전압저하를 방지할 필요가 있다. 역조류가 있는 경우에는 전로도중에서 배전전압이 상승하기 때문에 종래의 전압관리방식 으로는 전압상승에 대응할수 없기 때문에 전압의 적정치를 유지하기가 곤란하다. 역조류에 의한 전압의 상승은 분산형전원측에서 무효전력을 조정하여 계통으로부터 보다 뒤진 무효전력을 발생시키는 역조류에 의한 전압상승분을 보상할 필요가 있다.

일반적으로 정보통신기기는 정격전류의 10%이상의 순시전압저하에도 기기정지등의 영향을 받기 때문에 분산형전원의 연계에따른 돌입전류에 의해서 순시전압저하를 10% 이내로 억제할 필요가 있다. 동기발전기나 자역식 인버터의 경우는 계통과 동기를 취하여 연계하면 되고 또 타역식 인버터의 경우는 소프트 스타트를 하여 돌입전류를 방지하여 순시전압저하를 방지한다. 돌입전류가 문제가 되는 것은 유도발전기의 경우이지만 이경우에는 병렬시에 리액터를 삽입하고 싸이리스터의 시동장치를 설치하여 돌입전류를 억제할 필요가 있다.

인버터를 이용하여 연계하는 분산형전원의 경우에는 인버터로부터 고조파전류가 유출한다. 고조파전류를 수용가의 역률개선용 콘덴서, 가전기기, 사무용기기등의 과열, 소손, 오동작 등을 일으킬수 있기 때문에 그 한도를 명확히 하여 대책을 세울 필요가 있다. 발생고조파의 한도치에 있어서는 구미의 경우 기본과 정격전류에 대한 고조파 유출전류를 통합 전류왜율 5%, 각차전류왜율 3%이하로 잠정규정하고 있다. 인버터에서 고조파를 저감하기위한 방법으로는 인버터 스위칭주파수를 높게하여 저차의 고조파성분을 제거하고 정형파에 가까운 전류를

발생되게하는 PWM제어방식이나 대응량의 경우는 인버터를 복수대로 사용하여 저차 고조파가 감소되도록 다중화 방식을 채용하고 고차의 고조파는 필터에서 제거하는 방법이 채용되고 있다

### 2.2 3 안전의 확보와 설비보전

분산형전원의 계통연계에 있어 안전성의 면에서 가장 중요시 되고있는 것은 단독운전의 방지에 있다. 단독운전이란 그림1(a)에 나타낸바와 같이 계통측의 전원이 상실했을 때에 분산형전원이 계통으로부터 분리되지 않은채로 국소적으로 분산형전원으로 부터 타수용가에 전력을 공급하고 있는 상태를 말하며 이러한 상태가 계속 되면 원래 무전압으로 될 전력계통이 충전하게되어 보안면 또는 공급신뢰도 확보면에서 다양한 문제가 발생한다. 자립운전이란 그림1(b)에 나타낸바와 같이 분산형전원이 전력계통으로부터 분리된상태로 단독으로 구내부하에 전력을 공급하는 상태를 말하며 자립운전시 분산전원은 전압 및 주파수를 규정치 이내로 유지할 필요가 있다.

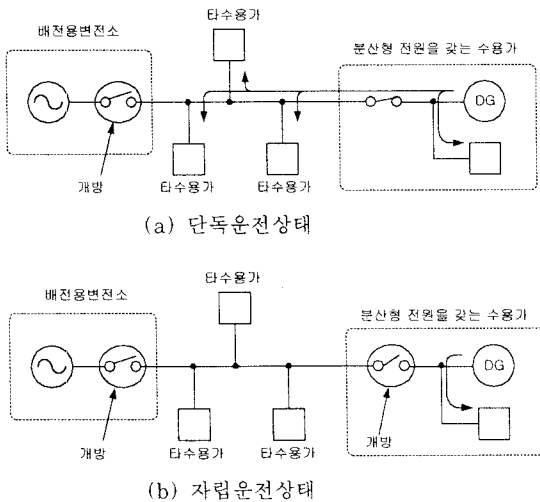


그림1 단독운전과 자립운전의 차이

단독운전상태로 되려면 분산형전원으로부터 배전계통에 전력을 공급하기 때문에 역조류가 없는 연계조건의 경우는 역전력계전기(또는 부족전력계전기) 및 주파수저하계전기를 설치하여 단독운전상태를 고속, 또는 확실하게 검출할 수 있다. 역조류가있는 연계조건의 경우는 역전력계전기를 사용할 수 없지만 단독운전이 되었을 때 단독운전 계통내의 분산형전원 발전출력과 부하가 평형하고 있지 않은 경우에는 분리개소의 전압,주파수 변동이 생긴다. 이 때문에 전압이상 계전기(파전압,전압저하) 및 주파수 이상계전기(주파수상승,주파수저하)를 설치하여 단독운전이 발생할 가능성을 줄일 수 있다. 그러나 단독운전 계통내의 분산형전원 발전출력과 부하가 유효전력, 무효전력과도 대체로 평균을 이루고 있는 경우에는 분리개소의 전압 및 주파수는 공히 변화량이 적고 이러한 보호계전기 만으로는 단독운전을 방지할 수 없기 때문에 전력회사의 변전소와 분산형전원을 가진 수용가의 사이에 통신회로에 의한 전송차단장치를 설치하든지 또는 분산형전원측에 단독운전검출장치를 설치하여 자동적으로 전력계통으로부터 분리할 필요가 있다. 그러나 배전계통의 재편등 연계되는 배전선이 변경되어 전송차단을 할 수 없는경우가 있을수 있으므로 분산형전원측에 단독운전검출장치의 설치가 요망된다.

단독운전검출방법으로는 능동적방식과 수동적방식이 있는데 수동적방식은 단독운전이행시의 전압의 위상이나 주파수등의 급격한 변화를 검출하는 방법으로 일반적으로 고속성이 뛰어나지만 불감대 영역이 있는점과 급격한 부하변동등에 의한 빈번한 오동작을 일으킬 가능성이 있다. 능동적방식은 발전설비의 제어제나 외부에 부가회로 등에 의해 상시 무엇인가의 변동을 주어놓고 단독운전시에 현저한 이 변동을 검출하는 방식으로 이방식은 원리적으로 불감대의 영역이 없는점이 장점이지만 일반적으로 검출에 시간이 걸리며 다능동적방식을 채용한 분산형전원이 동일 계통에 다수 연계될경우에 효과적으로 동작되지 않을 가능성이 있다.

### 3. 결 론

분산형전원의 배전계통연계에 발생할수 있는 문제점에 대하여 계통측면 및 분산형전원측에서 고려해야할 사항에 대하여 언급하였으며 배전계통운용에 있어서는 계통의 역조류의 관리가 어렵게되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 또 분산형전원이 대량도입되어 배전선간의 탁송이 행해지는 경우 역조류나 분산형전원의 출력변동에 따라 배전선의 조류가 크게 변하고 폭주될 우려가 있으며 이 배전선의 조류변화는 부하예측을 곤란하게 할뿐만 아니라 배전선의 전압관리의 복잡화, 운용, 제어의 복잡화 및 그것에 따른 설비계획의 곤란화를 초래하고 현재 방사상 배전계통의 구성에서 배전용변전소 변압기뱅크 단위로의 송출전압제어나 전압관리에는 배전선간의 역조류 불평형의 증대에 의해 한계가 있음을 알수 있다.

이와 같이 분산형전원의 배전계통연계에 계통측 및 분산형전원측 쌍방에 문제가 생길수 있으며 계통측에서는 조류의 평형화에 의한 설비이용율의 향상 전압안정화, 손실의 저감 및 운용관리의 간소화에 의한コスト저감을 달성할 수 있고 수용가측에서는 에너지의 효율적 이용에 의한 코스트 저감을 동시에 달성하여 전력사업자 및 수용가 쌍방에 편익을 가져오는 방책이 필요하다고 생각된다.

### (참 고 문 헌)

- (1) "자가용발전기 병렬연계선로 보호방식에 관한 연구" 한전 기술연구원 최종연구보고서 1985.4
- (2) 電氣技術基準調査委員會, "分散形電源系統連繫指針", 日本電氣協會, 1994.1
- (3) 資源에너지廳編, "解說電力系統連繫技術要件가이드라인'98", 電力新報社, 1998.7
- (4) "계통연계운전형 신에너지전원의 표준화 및 보급체제 정비" 한전전력연구원 최종연구보고서 2000.12
- (5) "特集分散電源 Q&A" 日本 OHM社 1993.11
- (6) "特集 Cogeneration Q&A" 日本 OHM社 1999.1~5