



분산형전원 계통연계시의 기술적 과제와 그 대책

1. 머리말

최근 환경문제와 잉여전력의 유효활용 등에 대한 의식이 높아짐에 따라 코제너레이션 설비와 수력발전설비 등으로 대표되는 분산형전원이 급속히 보급되고 있으며, 또한 장차 전력계통에서의 중요한 요소의 하나로 기대되고 있다. 이들 분산형전원은 종래부터 전력회사가 주로 적용해온 대형 화력·원자력발전기와는 달리 비교적 소형이고 또한 풍력이나 수력 등 자연에너지를 이용한 전원이 많다는 특징이 있다. 그러나 분산형전원을 계통에 연계하여 병렬운전을 할 경우에는 전력품질, 공급신뢰도 등의 면에서 종전에는 없었던 기술적과제가 생기게 된다. 본고에서는 이들 기술적 과제와 그 대책에 대하여 검토 예를 들어 소개한다.

2. 분산형전원의 계통연계기술

분산형전원을 그 에너지원에 따라 분류하면 가스터빈, 가스엔진, 디젤엔진 등의 연료소비계, 풍력, 소수력, 태양광 등의 자연에너지계, 그리고 폐기물발전 등의 미이용에너지계로 대별 할 수 있다. 관점을 바꾸어 계통과의 접속 방식에 따라 분류하면 표 1에 표시하는 것과 같이 동기발전기나 유도발전기라는 교류발전기에 의하여 계통에 접속되는 「회전기계(系)」와 직류전원을 인버터와 교류로 변환하여 접속하는 「인버터계(系)」로 대별된다.

분산형전원의 장점으로는 그것들이 주로 수요지 가까이 또는 수요지 안에 설치됨으로써 온 사이트전원으로 사용되며 장거리송전선이 불필요하며 송전 손실이 저감된다. 하절기와 주간의 전력수요 피크에 대응할 수 있음으로써 대규모발전소, 변전설비 신규 설치의 연기가 가능하고 지역분산입지로 재해시 에너지 시큐어리티가 높아진다는 것 등이다. 또 에너지 유효이용의 관점에서는 자연에너지 소위 재생가능에너지를 이용 할 수 있다는 것, 열병합발전(코제너레이션)으로 종합효율의 향상과 성(省)에너지를 기할 수 있다는 것, 그리고 미이용에너지의 유효이용을 할 수 있다는 것 등을 들 수 있다. 역으로 분산형전원의 단점은 일부의 전원은 출력이 불안정하기 때문에 전력안정공급시스템의 구축이 필요하거나 또는 전력저장설비와의 하이브리드시스템으로 할 필요가 있다는 것 등이다. 또 분산형전원이 발전을 지나치게 하였을 경우에는 잉여전력의 처리가 필요하게 된다. 이들 단점에 대한 해결책으로서 흔히 「분산형전원의 계통연계」를 하

〈표 1〉 계통접속방식에 따른 분산형전원의 분류

계통 접속 방식	분산형전원
회전기계(교류발전기에 의한 접속)	가스터빈
	가스엔진
	디젤엔진
	풍력발전
	소수력발전
인버터계(인버터에 의한 접속)	폐기물발전
	태양광발전
	연료전지
	마이크로 가스터빈

〈표 2〉 계통연계를 하는데 있어서의 상위점

비교항목	회전기계 (동기계)	회전기계 (유도기)	인버터계 (자동식)	인버터계 (타동식)
역률조정 능력	있음	없음	있음	없음
고주파 발생	없음	없음	있음	있음
기동시 돌입 전류	동기투입을 하기 때문에 적음	큼	동기투입을 하기 때문에 적음	큼
계통사고시의 과전류	큼	큼	정격전류의 2배 정도까지	정격전류의 2배 정도까지
보호기능	외부보호 장치 필요	외부보호 장치 필요	내장	내장

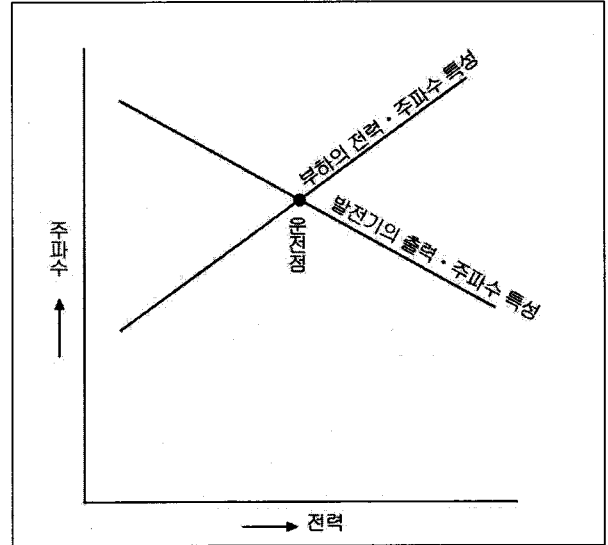
게 된다. 계통연계를 함으로써 발전설비 설치자로서는 풍력, 태양광 등 불안정한 발전출력에 대응할 수 있다. 잉여 전력을 팔수도 있다. 또한 운전계획 등의 면에서 자유도가 증대한다는 메리트가 나타나게 되는 것이다.

계통연계를 할 때에 유의하여야 할 점으로는 기존 전력계통의 전력품질, 신뢰도 등에 영향을 미치지 않아야 된다. 회전기계(系)와 인버터계(系) 분산형전원에서 계통연계를 함에 있어서의 상위점(相違点)을 표 2에 종합하였다. 각각 장단점이 있다. 이들 발전설비(회전기계와 인버터계)를 상용전력계통에 연계하기 위해 필요하게 되는 기술요건을 표시하기 위하여 자원에너지청에서 「전력계통 연계기술요건 가이드라인」이 정비되었다. 이 가이드라인의 기본적인 생각은 일반대중 및 작업자의 안전 확보와 전력설비 또는 다른 수용가의 설비에 악영향을 미치지 않을 것, 나아가 공급 신뢰도(정전 등), 전력품질(저압·주파수 등) 면에서 다른 수용가에게 악영향을 미치지 않아야 한다는 것으로 되어 있다.

3. 계통 연계시의 기술적 과제와 대책

가. 전력품질의 확보

분산형전원이 계통과 연계하여 운전될 경우 종래의 전원과는 다른 전력품질 문제가 나타나고 있다. 다음에 그 개요를 든다.



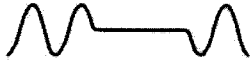




〈그림 1〉 발전기와 부하의 전력·주파수 특성

(1) 주파수 변동

전력계통의 기본과 주파수가 어떤 원인으로 공칭주파수(50Hz 또는 60Hz)에서 벗어날 경우가 있다. 이것을 주파수 변동이라 한다. 전력계통의 주파수는 발전기의 회전속도와 직접 관계되며 발전과 부하의 밸런스가 흐트러졌을 때, 예를 들면 부하의 크기가 급변하였을 때와 같은 경우에 계통주파수에 약간의 변동이 생긴다. 이 주파수 변동의 크기와 지속시간은 부하특성과 부하변동에 대한 발전기의 응답특성에 의존한다(그림 1 참조). 부하변동과 마찬가지로 발전기 출력의 변동도 계통주파수 변동의 원인이 된다.

예를 들면 풍력발전과 같이 그 출력이 완전하게 일정하지 않고 시간과 함께 변동하는 경우에는 계통주파수가 변동한다. 통상 이 주파수 변동의 크기는 문제가 되는 값은 아니나 계통의 용량에 대한 풍력발전의 도입량이 수 % 이상으로 커졌을 경우에는 어떤 대책이 필요할 경우가 있다. 대계통과 연계하지 않는 독립계통인 경우에는 주파수 변동문제는 보다 심각하다.

〈표 3〉 전압 변동 카테고리

카테고리	파 형 예
정전(Outages)	
전압저하(Sags)	
전압상승(Swells)	
서지	
노이즈	

(2) 전압 변동

전압 변동에는 여러 가지 카테고리가 있다(표 3 참조). 표 3에 그것들을 종합하여 실는다. 상시전압은 일본 전기사업법 제26조에 의하여 $101 \pm 6V$, $202 \pm 20V$ 로 유지하도록 정해져 있다. 통상의 전압변동은 장소에 따라 다르나 0.5~2% 정도가 목표로 된다. 전압 유지의 목적은 전력계통 안정운전을 확보하는 일(전압 안정도의 붕괴를 방지한다)과 송전 손실을 저감하는 것이다. 종래의 전압 제어는 모두 로컬제어로 단주기(순시제어) 성분은 발전기 AVR(자동전압조정장치)로 제어되며, 필요에 따라서는 SVC(정지형 무효전력보상장치), SVG(정지형 무효전력 발생장치), RC(동기조상기) 등의 기기를 설치한다. 중주기(수초~수분) 성분은 변압기 탭, 배전선 SVR(스텝식 자동전압조정장치)에 의해 제어된다. 장주기(십수분 이상) 성분은 조상설비의 스케줄 운전 제어에 의해 1일의 부하변동 패턴에 따른 제어를 한다. 분산형전원의 운전·정지 등에 의한 출력변화에 수반하여 그 전원이 연계되는

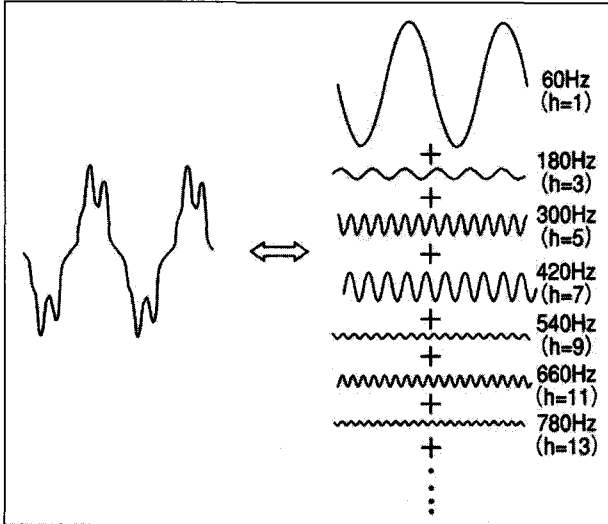
배전선의 상시전압이 변동되는데 이에 대하여는 역률 개선용 콘덴서에 의한 역률 제어 또는 분산형전원 그 자체의 출력제어에 의해 대책이 가능하다. 또 분산형전원의 해열(解列)에 의한 전압 저하에 대해서는 분산형전원의 출력에 맞는 부하제어 또는 부하 제한에 의해 대책이 가능하다.

순시적인 전압변동에 대해서는 지금까지 그렇게 문제가 되지 않았으나 최근 컴퓨터나 가변속드라이브 등 전압에 대해 민감한 부하가 증가되어 전압강하도 20% 정도, 지속시간수 10ms 정도에서도 문제가 되는 케이스가 나타나고 있다. 예를 들면 유도발전기를 사용한 풍력발전설비가 풍속의 증가로 자동 기동하는 경우 돌입전류로 인해 순시적으로 전압 강하가 생긴다. 이 때문에 돌입전류를 급격히 흘리지 않기 위해 소프트스타트회로를 채용하거나 또는 돌입전류가 흐르지 않는 동기발전기를 사용하는 등의 대책을 하는 것이 일반화되었다. 발전기 출력 변동에 의한 플리커에 대해서는 플리커 억제장치, 전력저장장치(NAS 전지 등) 또는 직렬형 무효전력 보상장치에 의해 대책을 세울 수가 있다.

(3) 고조파

일반적으로 고조파(Harmonics)란 기본주파수(50Hz 또는 60Hz)의 정수차배(整數次倍)의 주파수를 갖는 정현파 전압 또는 전류를 말한다. 전력계통에 나타나는 전류나 전압의 일그러진 파형은 그림 2에 표시하는 것과 같이 기본파와 복수의 고조파가 합성된 것으로 볼 수 있다. 일그러짐의 원인은 기본적으로 전력기기의 비선형특성(자속의 포화특성 등)에 의한 것이다. 분산형전원 중에는 직류/교류변환기를 사용한 것도 많은데 이 변환기는 고조파의 발생원이 될 가능성이 있다.

기본주파수의 정수차배가 되지 않는 주파수성분을 갖는 전압 또는 전류를 비정수차고조파(Interharmonics)라 한다. 비정수차고조파의 원인은 주파수변환기, 사이클로 컨버터, 유도기, 아크로 등이다. 전력계통에 주는 비정



〈그림 2〉 기본파와 고조파의 합성

수차 고조파의 영향에 대해서는 아직 충분하게 설명되어 있다고는 할 수 없다.

나. 공급 신뢰도의 확보

(1) 신뢰도 유지

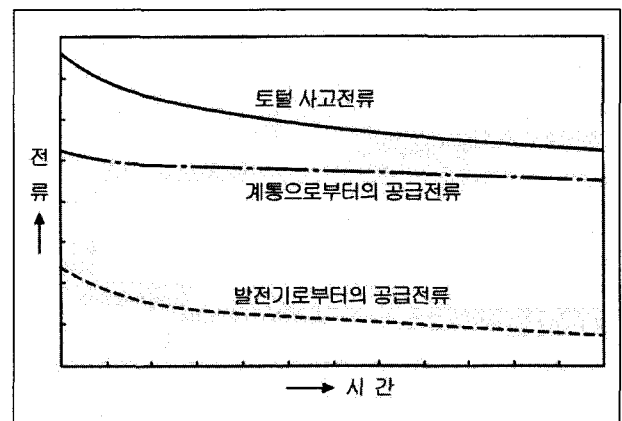
분산형전원이 계통연계 되었을 경우 신뢰도 문제는 중전부터 있었던 기간계통(基幹系統)에서의 문제가 배전계통 등 하위계통에도 나타나게 되었다고도 볼 수 있다. 예를 들면 분산형전원이 정상상태·사고시의 안정도에 미치는 영향, 전압 안정도에 미치는 영향 또는 국지적인 문제로서 송·배전선 과부하시의 조류제어 문제 등을 들 수 있다. 특히 윈드팜이나 마이크로터빈군(群) 등 대용량의 분산형전원이 대량으로 해열된 경우에 그것이 계통 안정도에 미치는 영향 등은 신중히 검토하여야 할 사항이다. 분산형전원 내부 사고시나 분산형전원 고장·제어 이상시의 사고 파급은 과전류·지락전류의 검출에 의한 분산형전원의 해열로 방지할 수 있다.

계통단락 사고시에는 과전류·전압강하 등의 검출로 고압배전선 지락 사고시에는 지락과전류·지락과전압의

검출로 각각 분산형전원을 해열(解列)함으로써 사고파급 방지를 기할 수 있다. 신뢰도 유지를 위해서는 단락용량 대책도 필요하다. 구체적으로는 승압용변압기에 고(高)임피던스기기를 채용한다. 한류리액터를 설치한다. 또는 한류기를 설치하는 등의 대책을 생각할 수 있다.

(2) 보호제어

배전계통에서의 보호장치는 통상 고압전력계통에서 저압계통으로 흐르는 조류를 가정하고 있다. 이 가정 하에서 계통의 전압제어를 하며 공급전압의 품질을 유지할 수가 있다. 보호장치는 과전류 릴레이를 기본으로 하고 있으며, 상류의 릴레이에서 하류의 릴레이와 협조가 취해진 설정치를 사용한다. 즉 하류 피더에서의 사고는 그 피더의 전원측에 설치된 릴레이에 의해서 제거되고 만약 그 릴레이가 오동작하는 등 사고의 클리어에 실패하였을 경우에는 그 릴레이의 상류직근(直近)릴레이가 동작하여 사고를 클리어한다. 배전계통에 발전기가 연계되면 연계된 발전기, 다른 발전기 각각의 위치에 따라 릴레이가 보는 사고 전류가 변화한다. 릴레이 간의 협조를 취하기 위해서는 계통에서 고장점의 공급전류에 더하여 연계된 모든 발전기로부터의 공급전류를 고려할 필요가 있다(그림 3 참조).



〈그림 3〉 분산형전원 계통 연계시의 사고전류

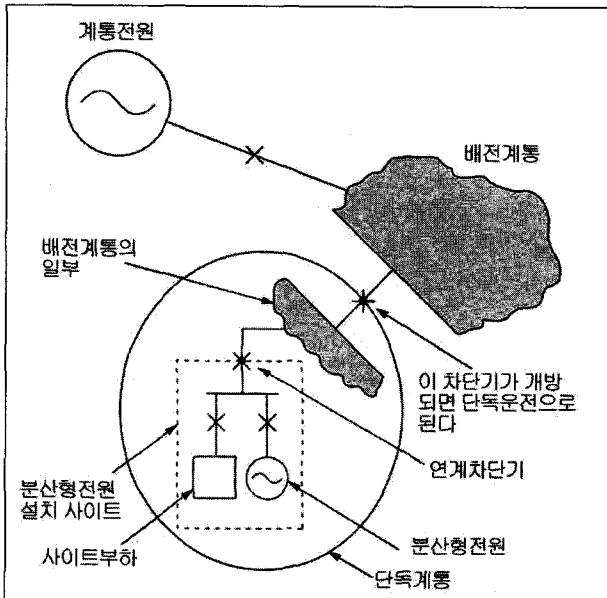
다. 단독운전 방지

(1) 단독운전이란

배전시스템의 사고는 통상 사고점에 가장 가까운 보호릴레이에 의하여 제거된다. 그 결과 전력계통에서 분리된 배전시스템의 일부에 분산전원이 전력을 공급하려고 한다. 대개의 경우 이 분산형전원은 과부하상태로 되어 전압이나 주파수가 저하하여 정지하게 된다. 그러나 드물기는 하나 이 단독계통에 접속된 발전기(또는 발전기군)가 단독계통의 부하 모두에 전력을 공급할 수 있는 능력이 있는 경우가 있다. 이와 같이 전력회사로부터의 전력이 정지되더라도 분산형전원만으로 부하에 공급을 계속하는 상태를 「단독운전」이라 한다(그림 4 참조).

(2) 단독운전의 폐해

단독운전상태가 계속되면 점검·복구작업원이나 일반대중이 충전부에 접촉함으로써 인신사고에 이를 우려가 있다. 본래 정전되어 있어야 할 계통이 충전되어 있음

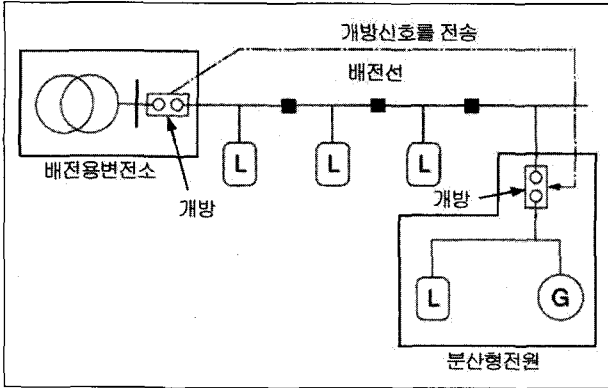


〈그림 4〉 단독운전

로써 종래에 비하여 작업자가 감전할 가능성이 증대하게 되는 것이다. 또 분산형전원으로부터 전력이 공급되는 경우에 그 품질이 전력회사로부터 공급되는 경우에 비하여 저하하는 경우가 있어 그것이 부하에 악영향을 미치는 것도 생각할 수 있다. 또한 전력회사에서는 정전상태를 신속히 복구하기 위해 일정시간 후에 자동적으로 변전소 등 차단기·개폐기를 투입하도록 하고 있는(자동재폐로 자동역송)데 단독운전이 계속되고 있으면 비동기투입이 되어 사고가 확대되어 오히려 사고복구가 늦어지는 일이 있다. 이상에서 분산형전원과 그 계통과의 접속점에 적용되는 보호장치는 계통으로부터의 공급이 끊어졌을 경우에 이것을 검출하여 접속점의 차단기를 트립시킬 수 있어야 한다. 이 기능을 「단독운전검출」이라 한다.

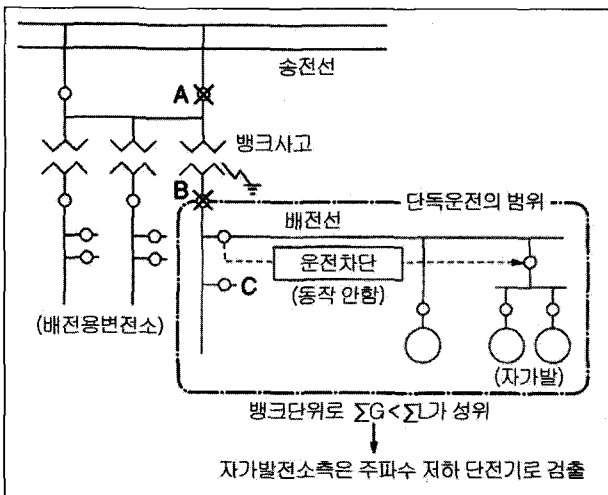
(3) 종전의 단독운전 검출기술

단독운전을 검출하기 위한 하나의 방책으로 단독운전 이행시의 전압, 주파수의 변화를 검출하여 접속점의 차단기를 트립하는 전압·주파수 이상계전기가 알려져 있다. 이것들은 계통의 주파수 또는 전압의 변화를 모니터링함으로써 단독운전을 검출하는 것이다. 계통 분리시 발전기의 부하에 변화가 있으면 발전기의 주파수와 전압이 변동되어 새로운 에너지밸런스가 생긴다. 많은 소용량발전기의 경우 이 방식에 의해 단독운전 검출이 가능하다. 그러나 계통 분리시 부하의 변화가 발전기제어계에 의해 보상할 수 있는 범위를 넘지 않으면 검출할 수 없다. 상술한 바와 같이 단독계통 내의 발전출력과 부하가 평형을 이루고 있을 경우에는 단독운전상태가 되어도 전압·주파수의 변화가 적음으로 이들 계전기로는 단독운전을 방지할 수가 없다. 「역조류 없음」의 연계인 경우에는 종전부터 사용되고 있는 「역전력 릴레이」에 의한 단독운전 방지가 가능하다. 이것은 분산형전원에서 배전계통측으로 조류가 흐름으로써 단독운전을 검출하는 것이다.



〈그림 5〉 전송차단방식

「역조류 있음」인 분산형전원에 적용할 수 있는 방식으로 전송차단방식이 있다. 이것은 그림 5에 표시하는 것과 같이 배전용변전소의 송출차단기 개방신호를 분산형전원측 차단기에 정보를 전송하여 이것을 차단하는 것이다. 이 방식에는 전송로를 필요로 하기 때문에 전체의 장치가 가격이 비싸진다는 디메리트가 있다. 또 상위계통사고에 의한 단독운전을 검출할 수 없으며, 배전선 구간단위의 정전에는 대응할 수 없다는 디메리트도 있다.



〈그림 6〉 상위계통사고시의 단독운전 검출

상위계통사고에 대해서는 그림 6에 예를 든다. 이 경우 뱅크사고로 개방하는 개폐기는 A, B인데 전송차단장치는 C가 개방하였다는 신호를 분산형전원측에 전송하여 차단하는 장치이기 때문에 이 케이스에서는 기능하지 않는다. 상위계통 사고시에도 대응할 수 있는 방식으로 시스템감시방식이 있다. 이것은 단독운전상태를 일으킬 가능성이 있는 모든 차단기의 개폐상태를 감시하는 것이다. 상기 예에 적용하면 개폐기 A를 포함하여 개폐상태를 감시하기 때문에 단독운전시에 전송신호에 의하여 연계차단기가 차단된다.

(4) 수동방식과 능동방식

단독운전 검출기능을 갖는 장치를 분산형전원측에 설치하여 분산형전원 측에서 확실하게 단독운전을 검출할 수 있다면 전송차단장치나 SCADA를 생략하여 경제적인 분산형전원 시스템을 구축할 수가 있다. 이와 같은 자단검출식(自端檢出式, 분산형전원측의 정보만을 사용한다)의 단독운전 검출방식은 수동방식과 능동방식의 두 종류로 대별할 수 있다.

수동방식이란 분산형전원의 연계점에서 전압·주파수의 변동, 고조파 일그러짐의 변동, 전압의 이상(移相) 변동 등의 측정가능한 양을 상시 감시하여 단독운전상태로 되었을 때는 이들 값이 통상의 계통연계시에서 크게 변동하는 것을 이용하여 단독운전을 검출하는 것이다. 수동방식은 고감도로 고속검출이 가능하다는 장점이 있으나 급격한 부하변동이 있으며 오동작할 가능성이 있다. 또 계통분리시의 부하의 변화가 발전기 제어계에 의해 보상할 수 있는 범위를 넘지 않으면 검출할 수 없다.

단독운전검출장치가 오동작하면 연계점 차단기를 개방시키기 때문에 복구하는데 많은 시간을 요한다. 이 때문에 동작설정에는 충분한 고려가 필요하다. 또 태양광발전 등 역변환기를 이용한 분산형전원에 수동방식에 의해 단독운전을 검출한 경우에는 역변환장치를 정지하고, 오동

〈표 4〉 발전설비와 검출방식의 관계(능동방식)

구 분	동기발전기	유도발전기	인버터
무효전력변동방식	○		○
QC모드주파수시프트방식	○		○
부하변동방식	○	○	
유효전력변동방식	○		
무효전력보상방식	○	○	
주파수시프트방식			○
슬립모드주파수시프트방식			○
차수간고주파주입방식	○	○	○

작이었을 경우에는 자동 복구하는 등 유연한 운전이 가능하다.

능동방식은 수동방식으로 검출할 수 없는 거의 완전한 평형상태에 있어서도 단독운전상태를 검출하기 위하여 분산형전원 측에서 계통에 상시 외란(外亂)을 주어 단독 운전상태로 되었을 때 확실하게 전압과 주파수를 변동시키는 방식이다. 대표적인 능동적 검출방식과 그것이 적용 가능한 발전설비(여기서는 회전기계를 동기발전기와 유도발전기로 나누었다)와의 관계를 표 4에 표시한다.

능동방식인 경우에는 수동방식과는 반대로 외란을 주는 시간 및 외란에 의한 주파수의 변동 등을 검출하는 시간을 요하기 때문에 검출시간이 길어지는 경향인데, 원리적으로는 불감대가 없다는 장점이 있다. 이상의 사실로 수동방식과 능동방식을 조합함으로써 확실한 단독운전방지를 하도록 주장(推獎)하고 있다.

수동방식과 능동방식의 장점을 종합하면 표 5와 같다.

〈표 5〉 수동방식과 능동방식의 특징

구 분	수 동 방 식	능 동 방 식
원 리	전압·주파수·고조파 등의 변화 감시	분산형전원에 의한 외란의 질량
검출시간	짧음(1초 이하)	김
불 감 대	있음	없음
오 동 작	가능성 있음	가능성 낮음
배전계통의 영향	없음	전압변화 등을 생기게 할 가능성이 있음

4. 계통 연계시의 과제에 대한 검토

가. 자가용발전설비 순간전압 강하 대책

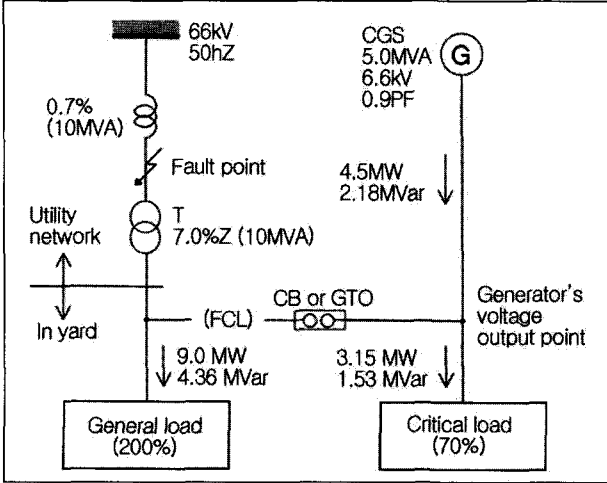
특고압수용가가 소내 부하에 전력을 공급할 목적으로 설치하는 발전기는 단독으로 전력을 공급하기보다는 품질이 좋은 전력을 얻기 위해 주로 상용전력계통에 연계하고 있다. 그러나 낙뢰 등으로 전력계통측 송전선에 사고가 발생하면 사고가 제거될 때까지 수용가의 모선전압이 저하된다는 문제가 있다.

이 전압 강하는 수용가의 부하와 발전기 양쪽에 악영향을 미친다. 부하에 관해서는 일렉트로닉스 기기와 조속기, 백열등 등 전압에 민감한 부하가 특히 영향을 받으며 저전압시간이 길어지면 길어질수록 심각한 상태가 된다. 이 영향을 최소한으로 억제하기 위하여 모선연락차단기를 사용하여 중요부하와 자가용발전기를 전력계통에서 일각이라도 빨리 분리할 필요가 있다.

한편, 발전기에 대한 영향은 전기토크, 축(軸)토크의 진동이다. 고장발생과 동시에 생기는 고장전류에 의해 진동한 전기토크는 기계계통에도 영향을 미쳐 축토크도 진동한다. 또한 이 축토크는 차단기가 개방되어 발전기가 전력계통에서 분리되어도 진동을 계속한다. 발전기의 원동기가 가스터빈일 때는 셰어핀이 과대한 축토크로부터 터빈을 보호하고 있으나 셰어핀은 상기의 과도축토크에 의해 열화한다.

대책으로는 발전기 설계의 재검토, 부하분담 재검토, 차단기의 고속화, 고장전류의 경감, 릴레이정정치의 재검토 등이 생각되는데 어느 것에 대해서도 검토수단으로 시뮬레이션이 필요하다. 간단한 검토 예를 소개한다. 이 시뮬레이션에는 범용과도해석 프로그램 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)를 사용하고 있다.

그림 7에 모델계통을 표시한다. 발전기가 정격출력으로 운전하고 있는 상태에서 변압기 1차측 단자에 3상 지락 고장이 발생하였다고 하자. 그 후 모선연락차단기가 개방



〈그림 7〉 모델계통

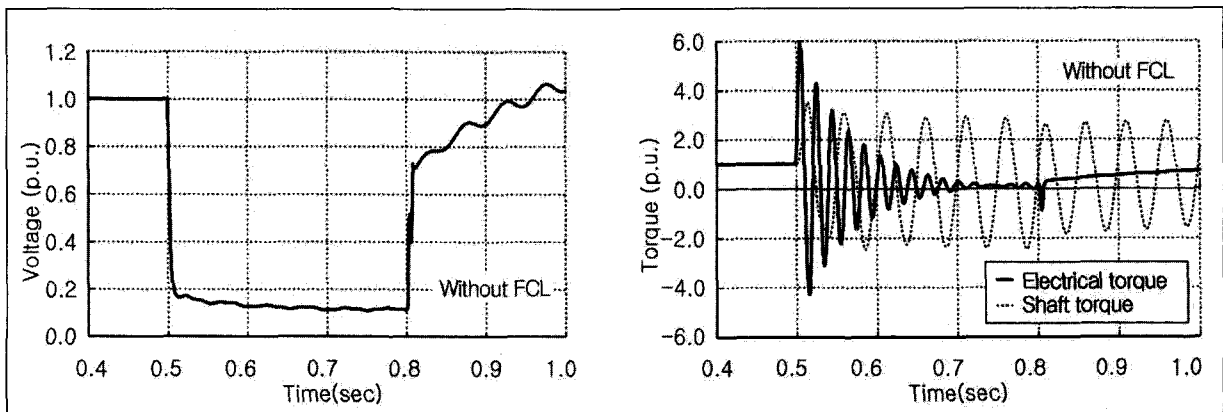
되어 자가용발전기를 계통에서 분리한다.

상용계통은 EMTP의 Type14 정전압원으로 모의한다. 자가용발전기는 파크의 식에 기초한 상세모델인 Type59 동기기모델로 모의한다. 동기발전기 단자전압을 위상의 기준으로 하고 있다. 축계는 7매스로 모의하였다. 여기서는 제4매스와 제5매스 간의 축토크를 출력한다. 일반적으로 터빈정수는 불명확한 때가 많다. 그와 같은 경우에는 심한 쪽으로 하여 댐핑이 없는 것으로 한다. 부하

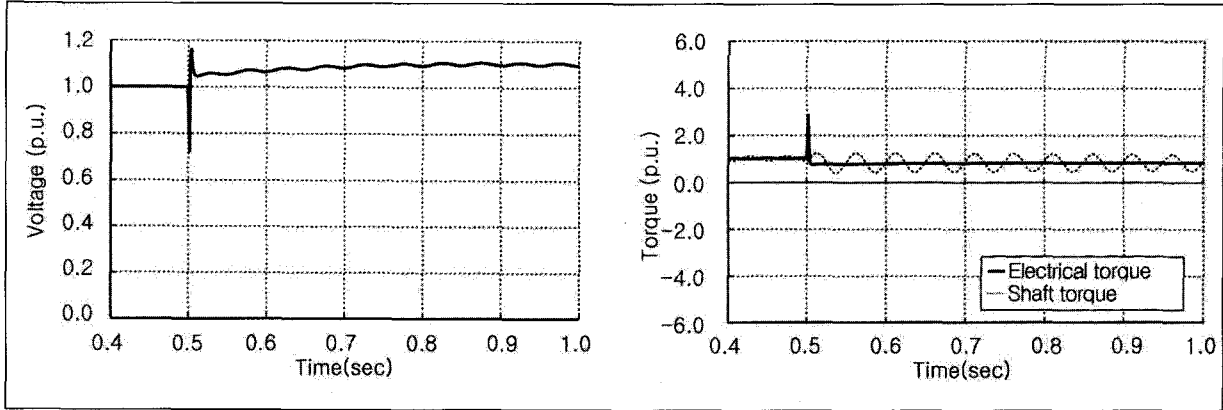
는 정(定)임피던스부하로 하고 집중정수 R, L의 직렬회로로 모의한다.

그림 8에 모선연락차단기가 종래형 차단기(CB)인 때의 발전기단자전압과 축토크를 표시한다. 차단기의 동작시간은 고장발생 후 0.3초로 하고 있다. 그림 9에 반도체 스위치(GTO)의 경우 파형을 표시한다. 동작시간은 거의 순시(1ms) 이하이다. 분명히 GTO 스위치 쪽이 토크 피크는 낮고 전압저하도(低下度)도 작은 것을 알 수 있다. 다른 고장(1상 지락, 2상 지락)이나 고장위치의 변화, 고장발생위상의 변화에 대해서도 마찬가지이다. 따라서 순간전압강화대책으로 차단기에 반도체 스위치를 적용하는 것이 유효하다고 할 수 있다.

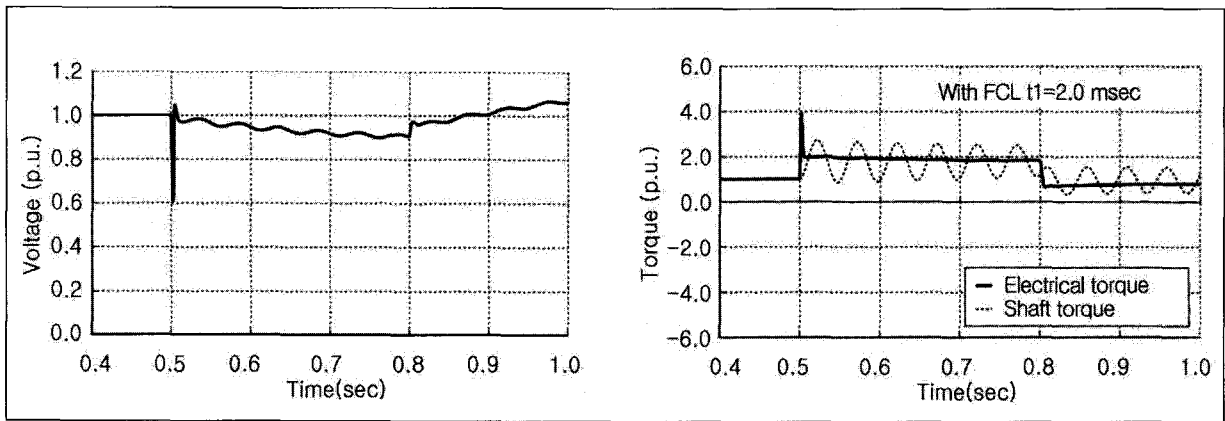
다음으로 한류기 부착 차단기인 경우를 생각해 본다. 한류기는 저항형 한류기를 예상하였다. 그림 10에 이 때의 토크파형을 표시한다. 그림 8과의 비교에서 한류기를 설치한 경우에는 전기토크, 축토크의 피크가 종래형 차단기만인 경우 보다 적은 것을 알 수 있다. 또 한류기의 고장검출시간은 축토크의 피크에는 영향을 주지 않는 것과 고장위치가 가까울수록 한류기의 발전기토크 저감 효과는 크다는 것 등도 알고 있어 한류기의 설치도 순간전압강화대책으로 유효하다고 할 수 있다.



〈그림 8〉 종래형 차단기인 경우의 발전기 단자전압과 토크



〈그림 9〉 GTO 스위치인 경우 발전기 단자전압과 토크



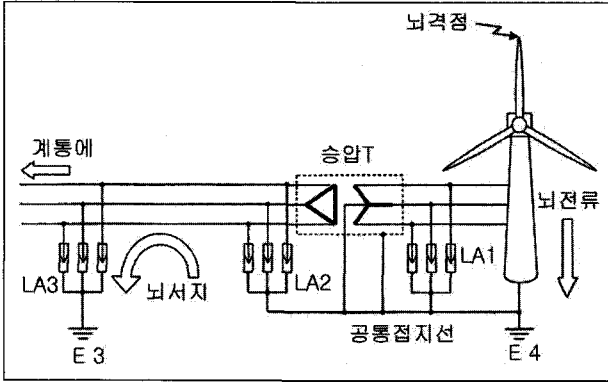
〈그림 10〉 한류기를 설치한 경우 발전기 단자전압과 토크

나. 풍력발전설비의 뇌서지대책

풍력발전설비는 당연히 풍황이 양호한 장소에 설치되게 되는데 일본의 지형이나 기상 상황으로 산간지대나 연안지대가 선정되는 케이스가 대단히 많다. 이 산간지대와 연안지대라는 것은 풍황이 양호함과 동시에 낙뢰가 대단히 많은 지역이기도 하며 동해(東海)측의 연안지대는 동계뢰(冬季雷)라는 에너지밀도가 대단히 큰 뇌다발지역이다. 이들 지역에 수 10m나 되는 높이의 풍차를 설치하면 낙뢰의 표적이 될 가능성이 극히 높게 될 것으로 생각되어 낙뢰의 충격과 낙뢰에 따른 서지과전압에 의한 기기의 손

상에 대한 대책이 대단히 중요함은 말할 필요도 없다.

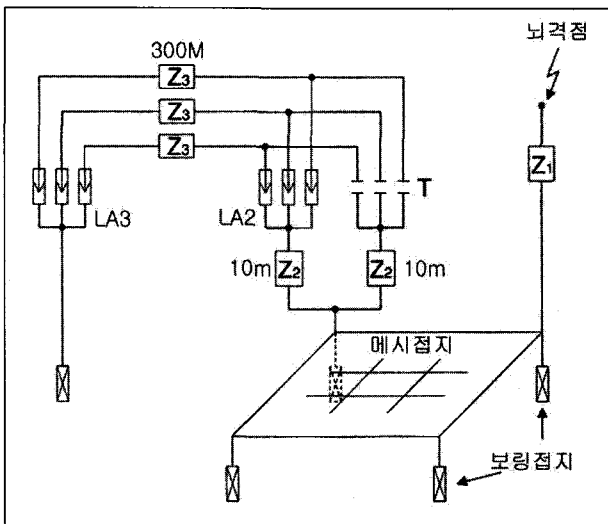
또한 최근에 직격뢰, 유도뢰에 이은 제3의 뇌해 원인으로 수용가설비에서 전력선으로의 뇌전류의 역류현상에 대한 연구가 시행되고 있다. 풍차의 낙뢰는 그림 11과 같이 풍차 브레이드부와 피뢰침 등에 낙뢰하여 접지선을 통하여 대지로 빠지는 서지와 공통접지선을 통하여 피뢰기 LA2에 침입하는 서지를 생각할 수 있다. 풍력발전설비는 계통연계를 하고 있기 때문에 이 LA2 측에 침입하는 서지는 전력계통측에 유입할 가능성이 있으며 계통측에 악영향이 우려된다. 여기서는 이들의 대책을 검토할 때 필



〈그림 11〉 풍력발전설비

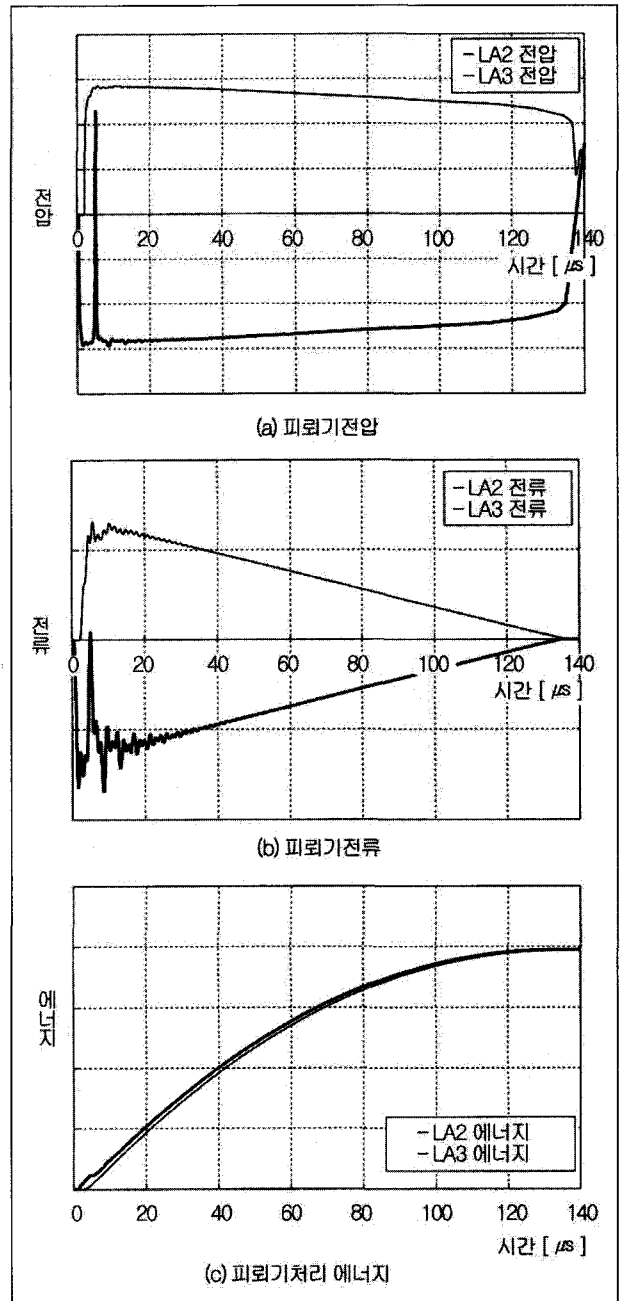
요하게 되는 뇌서지 과전압 해석방법의 1예에 대하여 소개한다.

전력기기의 뇌서지 해석에는 EMIP를 사용하는 것이 일반적이다. 그림 12에 EMTP 해석에서 사용하는 등가회로를 표시한다. 풍력발전설비에서는 서지과전압대책으로 접지저항을 저감하기 위하여 그림과 같이 접지를 메쉬 접지와 보링접지의 조합으로 하는 것이 많다. 풍차의 낙되는 이 메쉬+보링접지에 의해 대지로 흐르는 서지와 LA2 측에 흐르는 서지로 분류되기 때문에 EMTP 해석



〈그림 12〉 EMTP 해석용 등가회로

에서는 이 메쉬접지와 보링접지의 모의가 중요한 포인트가 된다. 그러나 현재의 EMTP에서는 지중나도체를 직



〈그림 13〉 해석결과 의 예

접 모의하는 것은 불가능하다. 그래서 현재의 방책으로는 지중나도체를 절연도체로 하여 분포정수선로로 모의하여 나도체에서 대지에 누설전류를 모의하는 저항을 대지에 접속하는 방법이 주장되고 있다. 이와 같이 모의함으로써 대지로 빠지는 서지와 공통접지선을 통하여 LA2 측에 침입하는 서지의 양쪽을 모의할 수 있게 된다.

해석결과의 1예를 그림 13에 표시한다.

EMTP 해석에서는 전압·전류는 물론 피뢰기처리 에 너지도 계산가능하다. 그림에서 LA2 측에 침입하는 너 서지도 양호하게 계산되어 있으며 이에 의하여 계통에 유입 하는 서지도 계산할 수 있음이 확인된다.

이들의 해석기술을 사용하여 뇌서지해석을 함으로써 우려되는 계통측의 과전압치를 도출할 수 있어, 설계단계 에서 이들의 계산결과를 사용하면 과전압치를 저감할 수 있는 접지저항치나 피뢰기의 선정 등을 하는데 일조가 되 는 것이다.

5. 분산형전원 계통연계의 장래기술

가. 분산형전원 다수대 연계시의 전력품질 유지

세계의 전력계통은 새로운 틀을 도입하고 있는 단계이 다. 일본에서의 규제완화 경위를 그림 14에 표시한다. 2000년 3월에는 대수용가를 대상으로 하는 전력소매의 부분자유화(자유요금)에 의해 신규 참가자와 전력회사에 의한 경쟁이 시작되었다. 앞으로 전력자유화의 스케줄로 는 2003년 3월(제도 개시후 3년)에 부분자유화의 효과 를 검증하고 자유화 범위 확대에 대하여 검토하기로 하였 다. 이것이 만약 "Yes"면 더욱 자유화 범위가 확대(고압 또는 저압배전선까지)되어 분산형전원이 다수 연계되게 되어 전력품질 유지의 필요성은 더욱 높아지게 된다.

이러한 신(新)환경 하에서의 전력품질 유지를 위한 유 의점으로서 다음과 같은 사항을 생각할 수 있다.

- ① 주파수유지 : 소매탁송에서의 동시동량원칙이 흐트 러졌을 경우에는 계통주파수가 변동한다.

<ul style="list-style-type: none"> ● 1991년~ <ul style="list-style-type: none"> · 전기사업심의회· 전력기본문제 소위원회 : 구입매뉴 ● 1994년~ <ul style="list-style-type: none"> · 전기사업심의회· 전력기본문제 소위원회 : '95년 전기사업법 일부 개정 · 신규전원 일부 입찰 · 도매 탁송 · 특정전기사업의 청설 ● 1997년~ <ul style="list-style-type: none"> · 전기사업심의회· 기본정책부회 : 전기사업법 일부 개정 · 특정규모전기사업의 청설 · 탁송률(대체 공급에 대하여 접속공급) · 적정거래/분쟁처리/정보공개 가이드라인 책정 ● 2000년 3월 <ul style="list-style-type: none"> · 부분자유화 개시(특고수요가만이 대상)

〈그림 14〉 일본에서의 규제완화 경위

- ② 전압유지 : 뱅크단위의 전압제어로서는 전압유지가 곤란하게 된다.
- ③ 고조파 : 고조파발생원의 증가로 대책 검토가 곤란 하게 된다(모든 발생원에서 충분한 대책을 강구하 면 문제 없음).
- ④ 안정도 : 전압 안정도 문제 등 새로운 문제가 발생 할 가능성이 있다.

분산형전원 다수대 연계시의 주파수 유지대책으로서 특정규모전기사업자(PPS)용 전력수급 감시제어시스템 을 생각할 수 있다. 예를 들면 30분 동시동량원칙 실현을 위해 PPS의 전력수급을 감시·제어하는 것이 필요하다. 이와 같은 분산형전원 다수대 연계시의 전력품질 유지대 책, 즉 전력품질 유지를 위한 서비스는 전력회사 및 분산 형전원의 양쪽에서 제공하는 것이 필요하다고 생각된다. 이하 참고로 NERC(North American Electric Reliability Council)에 의한 엔시러티서비스 항목을 표 시한다.

- ① 레규레이션
- ② 부하추종
- ③ 에너지 불평형
- ④ 순동예비력
- ⑤ 운전예비력

- ⑥ 백업 공급
- ⑦ 계통 제어
- ⑧ 동적스케줄링
- ⑨ 전원측으로부터의 무효전력·전압 제어
- ⑩ 유효전력 송전 손실
- ⑪ 전원에 의한 계통안정화 서비스

분산형전원 여러대가 연계되면 단독운전 검출장치에 대해서도 영향이 있다고 생각된다. 따라서 동일 배전선에 분산형전원이 복수 연계되는 경우에는 시뮬레이션 등에 의하여 단독운전 검출장치에 대한 평가를 시행하는 것이 필요하다. 예를 들면 10대~20대가 연계되었을 경우에 각각의 분산형전원에서의 단독운전 검출기능이 상호 간섭에 의한 영향평가에 대하여 검토할 필요가 있다. 또 다른 방식에 의한 단독운전 검출기능이 혼재하는 경우의 평가에 대해서도 앞으로의 과제이다. 뱅크단위에서 역조류가 발생하였을 경우 문제점에 대해서도 검토해둘 필요가 있다.

나. 파워일렉트로닉스 기술의 활용

파워일렉트로닉스기술 등을 활용하여 송전계통의 유효이용을 도모하는 장치를 FACTS(Flexible AC Transmission System)라 하는데 배전계통·수용가 계통에서는 Custom Power Controller라 부른다. Custom Power Controller의 예를 다음에 든다.

분산형전원의 계통연계에 얽힌 과제를 해결하기 위해 이들 기기가 큰 역할을 할 것으로 예상된다.

- ① TCTS(Thyristor Controlled Transfer Switch)
- ② STATCOM(Static Synchronous Compensator)
- ③ SSB(Solid State Breaker)
- ④ DVR(Dynamic Voltage Restorer)
- ⑤ Active Filter
- ⑥ Static VAR Compensator
- ⑦ TCSC(Thyristor Controlled Series Condenser)
- ⑧ TCVR(Thyristor Controlled Voltage Regulator)

파워일렉트로닉스 기술의 배전계통의 활용 예로서 전압변동보상을 위한 DVR, 단락전류 억제를 위한 한류기, 조류 제어를 위한 UPFC(Unified Power Flow Controller) 등이 있다. 앞으로 루프배전선의 조류제어를 하는 루프컨트롤러에도 파워일렉트로닉스 기술의 활용이 불가결할 것이다. 분산형전원 자체의 고성능화를 위해서도 파워일렉트로닉스 기술의 활용이 기대된다. 아래에 생각할 수 있는 활용 예를 든다.

- ① 출력조정 능력의 확대(풍력발전의 출력 일정화 등)
- ② 전압조정 능력의 확대(인버터기능의 고도화)
- ③ 고조파 발생의 억제
- ④ 윈드팜용 직류송전
- ⑤ 사이리스터 스위치에 의한 연계
- ⑥ 한류기

사이리스터 스위치에 의한 연계는 이미 실용화되어 있다. 자가용발전설비를 전력계통에 연계하여 운용하고 있는 수용가 계통에서 사이리스터 스위치(순간전압강하대책장치)를 모선연락차단기와 직렬로 접속하여 순간전압강하 발생후 고속(1사이클 이내)으로 전력계통을 분리하여 수용가의 중요부하기기를 순간전압강하로부터 보호하는 것이다. 이 장치는 계통 분리후 발전기 안정운전에도 기여한다.

6. 맺음말

분산형전원을 계통연계하는 경우의 기술적과제(전력 품질, 공급신뢰도 등)와 그 대책에 대하여 소개하였다. 새로운 틀이 탄생하고 있는 전력계통에서 문제해결에 일조가 된다면 다행으로 생각한다. ■

이 원고는 일본 明電時報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 (株)明電舎에 있고 번역책임은 대한전기 협회에 있습니다.