

태양광 선박의 분산전원화

Distributed Generation of Solar Ship

김희제*, 이경준†**

hee-je Kim*, Kyung-Jun Lee†**

요 약 문

경제성장과 산업·사회생활의 고도화에 따라서 증대하는 전력수요에 대해서, 에너지자원량과 지구환경의 제약이 거론되고 있는 최근의 에너지를 둘러싼 심각한 상황인식을 고려하여 전력수급의 장기적 안정을 확보하기 위해서는, 전력수급양면에 걸친 대책이 강화되어야 한다는 것이 현재 관련 전문가들의 공통된 의견으로 수렴되고 있다. 따라서 종래의 전력공급은 대규모 전원의 개발을 중심으로 수요에 대응해 왔지만, 앞으로는 수요의 관리·제어를 고려한 부하관리(Load Management) 또는 수요측관리(Demand-Side Management)를 적극적으로 추진해가고, 나아가 다양한 에너지원의 효율적 활용을 목표로 한 분산형전원의 개발과 도입을 적극적으로 추진하는 등의 폭넓은 정책이 마련·시행될 필요가 있다. 그 대안중의 하나로 태양광 하이브리드 선박이 널리 보급될 경우 하나의 분산전원으로서 그 역할을 할 것으로 기대된다.

※ **핵심용어** : 신재생에너지(New & Renewable Energy), 분산전원(Distributed Generation), 태양광 하이브리드 선박(Solar Hybrid Ship)

1. 서 론

경제성장과 산업·사회생활의 고도화에 따라서 증대하는 전력수요에 대해서, 에너지 자원량과

지구환경의 제약이 거론되고 있는 최근의 에너지를 둘러싼 심각한 상황인식을 고려하여 전력수급의 장기적 안정을 확보하기 위해서는 전력수급양면에 걸친 대책이 강구되어야 한다는 것이 현재 관련 전문가들의 공통된 의견이다. 따라서 종래의 전력

* 부산대학교 전기공학과 교수

** 부산대학교 전기공학과 박사과정

† 논문주저자

공급은 대규모전원의 개발을 중심으로 수요에 대응해 왔지만, 앞으로는 수요의 관리·제어를 고려한 부하관리(Load Management) 또는 수요측 관리(Demand-Side Management)를 적극적으로 추진해가고, 나아가 다양한 에너지원의 효율적 활용을 목표로 한 분산형전원의 개발과 도입을 적극적으로 추진하는 등의 폭넓은 정책이 마련·시행될 필요가 있다.

이와 같은 상황 하에 현재 배전계통에 소형열병합발전(Small Cogeneration), 태양광발전(Photovoltaic Generation), 풍력발전(Wind Power Generation), 연료전지발전(Fuel Cell Generation), 전지전력저장시스템(Battery Energy Storage System) 등 소용량의 분산배치가 가능한 발전설비(분산형전원: Dispersed Storage and Generation System)도입이 선진국을 중심으로 추진되고 있다. 이들의 전원은 그 소유와 운영 주체의 관점에서 전기사업자발전설비(Utility Generation)와 비전기사업자발전설비(NUG: Non-Utility Generation)로 나뉘어질 수 있으나, 현재 보급되고 있는 대부분은 NUG로 되어 있다. 특히, NUG의 경우는, 전기사업자가 그의 계획·관리·운용을 집중적으로 수행하는 기존의 전원과는 그 성격이 다르다는 점에 주의를 할 필요가 있다.

분산형전원의 개발과 도입에 대해서는 에너지 절약, 에너지 Security의 향상, CO₂ 배출대책 등의 환경측면에서 태양광 등의 신재생에너지에 의한 발전, 폐기물처리의 배열을 이용하는 발전 및 열병합발전 등의 전원도입이 기대되고 있으며, 특히 대도시권에 있어서는 전력수급의 지역간불평형 및 전력수급의 팽박을 완화하는 등 전력시스템

으로서의 효과도 기대된다.

국내의 경우 협소한 국토로 인해 기존의 분산전원의 확장이 어려운 점이 있다. 최근에는 해상 풍력이 각광을 받고 있긴 하지만 대부분 제주도에 분포하고 있다. 이에 반해 육상에 적용되는 태양광 발전 시스템을 해상의 선박의 잉여 공간에 확장한다면 또하나의 분산 전원으로서 자리잡을 것으로 기대된다.

2. 분산전원

2.1 분산전원의 개념 및 정의

분산전원이란 기존의 전력회사의 대규모 집중형전원과는 달리 소규모로서 소비지 근방에 분산배치가 가능한 전원을 말한다.(1) 이의 개념은 필자들이 조사한 바에 따르면 1972년 IEEE PES Winter Meeting에서 발표된 “Fuel Cells for Dispersed Power Generation”(저자: W.J. Lueckel 외 2인)의 논문에서 Dispersed Power Generation의 명칭으로, 1978년 7월 EPRI 보고서(RP-917-1) “The Impact on Transmission Requirements of Dispersed Storage and Generation”(저자: S.T. Lee외 2인)에서 Dispersed Storage and Generation의 명칭으로, 그리고 그 이후 현재까지 논문 등의 문헌에서는 Dispersed Storage, Dispersed Generation, Decentralized Generating Devices, Distribution System Generator, Distributed Generation, Local Generating Facilities 등의 다양한 명칭으로 언급되고 있다. 한편, 일본에서는 분산형전원(分散型電源) 또는 분산전원(分散電源)

등의 명칭을 사용하고 있다. 따라서 광의의 의미에서의 분산형전원은 저장설비를 포함하며, 그 종류는 발전기술, 발전설비의 형태, 이용형태, 소유 및 운용권한, 계통과의 연계운전, 역조류의 유무에 따라 다음의 표와 같이 분류될 수 있다.(2-4)

Table 1 분산전원의 분류

분류기준	분산형전원의 형태
발전기술	가스터어빈, 가스엔진, 디젤엔진, 소수력, 연료전지, 태양광, 풍력, 저장(2차전지, Fly-wheel, 초전)
발전설비	회전기(동기기, 유도기), 정지기
이용형태	발전전용, 열병합발전, 저장 및 발전
소유 및 운용권한	전기사업자용, 비전기사업자용
계통과의 연계운전	연계운전형, 단독운전형
역조류의유무	역송가능형, 역송불가능형

2.2 분산형전원의 전망

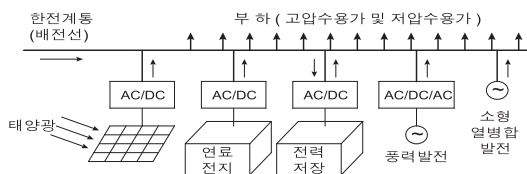


Fig. 1 분산형전원이 도입된 배전계통

2.2.1 분산전원의 장단점

중래, 전력시스템은 수요의 증가에 대해 전원의 대규모화로 대응해 왔지만, 최근들어 에너지·환경문제와 더불어 대규모전원의 입지확보 및 송전선의 루우트 확보가 어려워져 가고 있어 장기적 전력수급의 안정성 확보에 불확실성이 예상된다는 것이 일반론이다. 이러한 상황에서 분산형전원의 배전계통연계·도입에 대한 긍정적인 측면은

- 대규모전원의 보완(전원계획상의 유연성)
- 비교적 환경부하가 적은 에너지원의 이용
- 다양한 에너지원의 효율적 이용
- 배열이용에 의한 에너지효율의 향상 (열병합, 연료전지 등)

등을 생각할 수 있으며, 다른 한편 부정적인 측면은

- 소용량의 전원
- 불안정 전원(태양광, 풍력 등)
- 비경제성
- 기존 계통의 전력품질 및 신뢰도의 저하
- 계통운용상의 문제(보호협조, 안전, 보안)

등이 열거될 수 있다. 특히, 부정적인 시각의 비경제성을 일본의 예를 들어 설명을 하면, 일반용 발전의 발전단가[엔/kWh] (원자력 9엔, 화력 10~11엔, 수력 13엔)에 대해 태양광 130~150엔, 풍력 43~46엔, 연료전지 100엔 등과 같다. 또한, 계통 운용상의 문제에 대해서는 비전기사업자의 분산형전원의 도입시 그 도입계획, 운용, 제어에 대한 계통운영자의 권한이 없기 때문에 어떠한 기술로 대처해 나갈 것인가 하는 난제들이 상존하고 있다.

2.2.2 미래 전망

비전기사업자의 분산형전원이 주류를 이루고 있는 현재의 시점에서는 긍정적인 시각보다는 부정적인 시각이 더 강하게 어필될 수 있는 것 같이 보이지만, 전기사업자의 분산형전원을 자사의 배전계통에 전략적인 도입을 피한다면 대규모전원이 제공할 수 없는 장점 즉, 송배전설비의 강화 및 투자비용의 증가억제 및 지연, 계통의 신뢰성 개선, 효율적 설비운용, 수용가서비스의 향상 등을 얻을 수 있으며, 장차 전력시장의 개방에 대비한 발전시장부문에서의 경쟁력을 확보하는데 도움이

될 수 있다.

전략적 도입의 한 예로서, 자사의 어느 배전 계통의 국부적 피크부하로 선로 신·증설이 예상되는 배전선로에 피크부하커트용의 분산형전원을 도입·운용함으로써 송배전설비강화에 소요되는 투자비용의 절감과 지연이 가능하다는 점, 신설 송배전설비의 입지확보에 대한 어려움의 회피 등을 들 수 있다. 실제적으로, 대규모전원의 원격화에 따른 송배전설비의 강화에 투자되는 비용은 점차적으로 증가되고 있는 실정이다. 미국의 Pacific Gas and Electric Company의 경우, 발전설비 \$1에 대한 송배전설비의 투자비용이 종전에는 25센트이었던 것이 현재(1993년) \$1.50로 상승된 것으로 보고되고 있으며, 우리나라의 경우도 1970년대는 발전설비 100원에 대한 송배전설비의 투자비가 43원이었던 것이 1980년대에는 평균 46원, 1990년대에는 59원으로 상승되어 가고 있다. 차후, 정보화 사회에의 진전 등으로 인해 계통의 안정도 및 고품질의 전력서비스가 크게 요구됨에 따라 이 분야에 투자되는 비용은 계속 증가되어 갈 것으로 예상된다.

한편, 고압수용가(상업용 또는 산업용 수용가)의 구내 등에 전력회사소유의 분산형전원을 설치하여 고도의 운용기술을 적용함으로써 계통의 순간 및 사고정전 시에도 신뢰성 있는 전력서비스를 제공할 수 있는 방법도 고려할 수 있다.

따라서 분산형전원의 적용기술개발의 확립을 전제로 하여 상기의 점들을 고려한다면, 주어진 수요에 대해 최소발전비용을 목적함수로 하는 기존의 전원계획의 관점에서 탈피하여 분산형전원의 송배전능력강화와 부하관리에 기여하는 비용효과를 정량화하는 bottom-up방식의 경제성 평가기법을 개발할 필요가 있다. 미국의 EPRI에

서는 이러한 평가기법을 개발하여 동일한 가스엔진(1.1MW)을 사용할 경우, 중앙집중식발전소는 발전 원가가 약 \$70/MWh인데 비해, 분산형전원의 순원가(총비용-편익)는 약 \$20/MWh(best case) 및 약 \$40/MWh(worst case)인 것으로 보고되고 있으며, 또, 2000년에 실용화도입이 가능한 연료전지에 대해서도 분석을 수행하였는데, 전술의 결과와 거의 비슷한 결과를 얻었다고 한다.

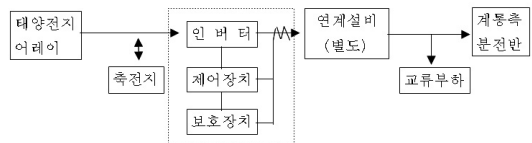
그러므로 다각적인 측면에서 볼 때, 전력회사가 다수의 분산형전원을 그 적용기술의 개발과 더불어 배전계통에 전략적으로 도입하게 될 가능성이 높으며, 그렇게 될 경우 미래의 배전계통은 기존과는 다른 새로운 모습으로 탈바꿈하여 등장하게 될 것이다.

3. 분산전원의 종류별 특성

3.1 태양광 발전시스템

3.1.1 기본 구성과 기능

a) 연계설비와 컨트롤러가 분리된 경우



b) 연계설비가 컨트롤러에 포함된 경우

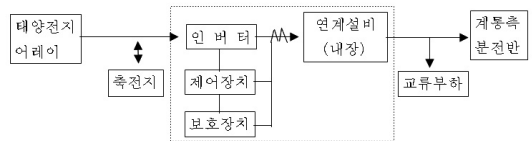


Fig.2 계통연계형 태양광발전설비의 기본구성

태양광발전설비의 제어기(Power Conditioner 라고도 함)는 크게 직류를 교류로 변환하는 인버터와, 이 인버터와 계통과의 인터페이스에 필요한 연계설비로 구성된다. 인버터는 태양전지어레이에서 발전된 직류전력을 교류전력으로 변환하는 장치이며, 연계설비는 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기)+변압기+측정설비+보상장치(필터, 역률보상장치 등) 등으로 구성되어 인버터와 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다. 축전지의 유무는 태양광발전장치가 계통 정전시에 자립운전을 수행할 것인가 아닌가의 여부에 따라 결정되어진다.

1) 인버터


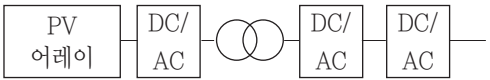

인버터는 직류를 교류로 변환하여 계통과 병렬운전을 수행하는 데 필요한 주파수, 전압, 전류, 위상, 유효전력, 무효전력, 기동정지, 동기, 출력의 품질(전압변동, 고조파)의 제어기능을 기본적으로 갖추어야 한다. 이들의 기능을 실현하기 위한 인버

터의 종류는, 정류(commutation)방식에 따라 자여식과 타여식, 직류회로의 전원특성에 따라 전압형과 전류형, 출력의 제어방식에 따라 전압 제어형과 전류제어형, 부하측(연계계통)과의 절연 방식에 따라 상용주파절연방식, 고주파절연방식, 트랜스리스방식(무변압기)으로 분류된다.(5-6)

전압제어형의 경우는 제어대상이 출력측의 전압의 크기와 위상으로 되어 있어, 과전류 또는 고장전류의 억제에는 불리하나 자립운전이 가능하므로, 설치 수용가가 UPS기능의 자립운전형을 요구할 경우에 유리하다. 한편, 전류제어형의 경우는 제어대상이 전류의 크기와 위상으로 되어 있어, 과전류 또는 고장전류의 억제에 유리하나 수용가의 부하만을 감당하여 자립운전하는 경우에는 불리하다.

상용주파절연방식의 경우, PWM인버터를 이용해서 상용주파교류를 만들어 공급하고, 상용주파의 변압기를 이용해서 절연과 전압변환을 수행하도록 되어 있다. 내성 및 노이즈컷트 특성이 우수하지만, 중량과 부피가 크다는 단점이 있다. 고주파절연

Table 2 태양광발전용 계통연계형 인버터의 종류

	회로 구성	개요
상용주파 변압기 절연방식		- 태양전지의 직류출력을 상용주파의 교류로 변환한 후, 변압기로 절연한다.
고주파 변압기 절연방식		- 태양전지의 직류출력을 고주파의 교류로 변환한 후, 소형의 고주파변압기로 절연한다. 그 후, 직류로 변환한 후 다시 상용주파의 교류로 변환한다.
트랜스리스방식		- 태양전지의 직류출력을 DC/DC컨버터로 승압후, 인버터로 상용주파의 교류로 변환한다.

방식의 경우는 소형경량으로 되는 이점이 있지만, 회로가 복잡하게 구성되는 단점이 있다. 트랜스리스 방식은 소형경량과 저가격에 이점이 있고 또한 신뢰성도 높지만 상용전원과 비절연의 상태로 되어 있어 직류전류유출에 대한 검출기능을 갖추어야 한다.

한편, 인버터는 상기의 기본기능이외에 갖추어야 할 기능으로서는

- 기후조건에 따라서 변동하는 태양전지의 출력을 가능한 한 최대로 활용하기 위한 자동 운전정지기능과 최대전력추종제어기능
- 계통보호를 위한 단독운전방지기능과 자동 전압조정기능
- 계통 및 인버터에 이상이 발생하였을 시, 계통으로부터 인버터를 안전하게 분리시켜 정지시키는 기능 등이 있으며, 하기에 이들 기능들에 대해 간단히 기술한다.

자동운전정지기능 인버터는 해돋이가 시작됨에 따라 일사강도가 점점 증대해 가면 태양전지의 출력을 자동감시 하여 운전을 자동적으로 개시하게 된다. 이 때 구름이나 비등의 일기조건이 좋지 않은 경우는 운전대기 상태로 하며, 일몰시에는 운전을 정지하도록 하게 된다.

최대출력추종제어 태양전지의 출력은 일사강도와 태양전지표면온도에 따라 변동하게 되는데, 이들의 변동에 따라서 태양전지의 동작점이 최대출력을 내도록 하는 것을 최대출력추종(Maximum Power Point Tracking)제어라고 한다. 즉, 인버터의 직류동작전압을 일정시간간격으로 약간 변동시켜 그때의 태양전지출력전력을 계속하고 변동전후의 값을 비교하여 전력을 최대로 하는 방향으로 인버터의 직류전압을 변화시킨다.

단독운전방지기능 태양광발전시스템이 계통에 연계하여 운전하고 있는 상태에서 계통측에 정전이 발생하였을 시, 계통측의 부하가 인버터의 출력 전력과 거의 동일할 경우에는 인버터의 출력전압은 변화하지 않는 조건으로 되어 버리기 때문에 전압 및 주파수계전기로서는 계통측의 정전상태를 감지해 낼 수 없게 된다. 이 때문에 계속해서 태양광발전 시스템으로부터 계통측으로 전력을 공급할 가능성이 있으며, 이 운전상태를 “단독운전”이라고 정의한다. 단독운전이 발생하게 되면, 배전계통의 보수점검자에게 감전위험을 초래하게 되기 때문에 어떻게 하든지 인버터를 정지시킬 필요가 있다. 단독운전 상태에서는 전술과 같이 전압계전기(OVR, UVR), 주파수계전기(OFR, UFR)로는 보호 불가능하므로 단독운전상태를 검지하여 인버터를 안전하게 정지시킬 대책을 갖추어야 한다. 현재까지 알려진 대책 으로서는 수동적 방식과 능동적 방식의 두방식이 제안되어 있다. 수동적 방식이란, 연계운전에서 단독 운전으로 이행시의 전압파형 및 위상 등의 변화를 감지하여 인버터를 정지시키는 방식을 말하며, 능동적 방식이란, 항상 인버터에 변동요인을 인위적으로 주어서 연계운전시에는 그 변동요인이 출력에 나타나지 않고, 단독운전시에는 이상이 나타나도록 하여 그것을 감지하여 인버터를 정지시키는 방식을 말한다. 수동적 방식에는 전압위상도약검출방식, 제3고조 파검출방식, 주파수변화율 검출방식이 있으며, 검출 시한은 0.5초 이내 보지시간은 5초~10초 정도이다. 능동적 방식에는 주파수쉬프트방식, 유효전력변동 방식, 무효전력변동방식, 부하변동방식 등이 있다. 검출시한은 0.5초~1초 정도이다.

자동전압조정기능 계통연계운전시 역조류운전을 수행할 경우, 수전점(연계점)의 전압이 상승하여

전력회사의 전압적응운전범위를 벗어나게 할 가능성이 있다. 이에 대한 방지대책으로서 자동전압조정기능을 갖게하여 전압의 상승을 억제할 필요가 있다. 이의 제어방법에는 진상무효전력제어와 출력제어의 두방식이 고려될 수 있다.

자립운전기능 계통과의 연계운전상태에서 계통의 정전을 감지하여 계통과 분리된 상태에서 자기부하만에 전력을 공급하는 기능을 말한다. 이 경우는 축전지를 갖는 경우와 갖지 않는 경우로 구분할 수 있는데, 대부분이 시스템의 신뢰성상 축전지를 갖는 구조로 하는 경우가 많다.

2) 연계설비

기존의 전력계통과 분산전원을 연결하여 운전하는데 필요한 인터페이스설비로서, 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기), 변압기(전력변환장치의 경우, 직류의 교류측에서의 유출방지), 품질보상장치(필터, 역률보상장치), 측정설비(전압, 전류, 주파수, 전력, 전력량)로서 구성된다. 기계적인 차단점으로서의 수전점(또는 연계점), 발전설비출력단, 발전설비연락지점, 모선연락지점 등을 고려해야 한다.

계통연계보호장치는 분산전원의 고장 또는 계통의 사고시, 사고의 신속한 제거와 사고범위의 국한화 등을 목적으로 설치하는 보호장치이다. 대체에너지 전원이 없는 수용가구내의 지락/단락사고에 따라 전력계통으로부터 유입하는 고장전류는 분산전원의 유무에 관계없이 발생하므로, 이에 대한 보호장치는 기존의 수용가에 설치되어 있다는 점을 고려해서, 계통연계보호장치에 이를 포함 또는 제외할 수도 있다.

일반적으로 소출력의 인버터의 경우에는 내장

되어 있지만, 경우에 따라서는 별도로 설치되어 있는 경우도 고려될 수 있다. 역조류가 있는 저압연계의 경우에는, 과전압계전기(OVR), 부족전압계전기(UVR), 주파수상승계전기(OFR), 주파수저하계전기(UFR)의 설치가 필수적이다. 또한 계통측 및 내부의 지락 및 단락사고시의 경우 대비하여 과전류요소의 누전차단기로서 대체할 수 있다. 그리고 단독운전방지대책의 연계보호장치도 별도로 구성하여야 할 필요가 있으며, 이는 인버터내장형의 타입도 고려될 수 있다.

절연변압기는 만일의 사고시 태양광발전장치로부터 계통측으로 직류가 유출될 수 있는 가능성을 막기 위하여 인버터의 출력과 계통측사이에 설치하도록 해야 한다. 이 변압기는 일반적으로 인버터에 내장되어 있는 경우가 대부분이다. 이는 인버터의 회로방식, 즉 상용주파변압기절연방식, 고주파 변압기절연방식, 트랜스리스(무변압기)방식에 의해 구분될 수 있으며, 특히 트랜스리스방식의 경우는 출력측에 직류유출을 감지할 수 있는 장치를 두어 유출시 이를 차단할 수 있도록 해야 한다.

품질보상장치에는 수전점의 역률을 조정하기 위한 역률보상장치, 장치로부터 유출되는 고조파 전류를 억제하기 위한 고조파전류억제장치(필터) 등이 고려될 수 있으며, 이들의 기능은 인버터내장형으로 할 수도 있다.

측정설비로서는 인버터의 제어에 필요한 피이드백요소인 전압, 전류, 주파수 등을 측정할 수 있는 설비로 이들은 보안감시용으로도 필요하다. 또한 역조류가 있는 경우는 전력회사와의 전력요금산정에 필요한 유효전력량계 및 무효전력량계를 설치할 필요가 있다.

3.2 풍력발전시스템

3.2.1 기본구성과 기능

풍력발전기의 형태에 따라 농형 유도발전기, 권선형 유도발전기, 일반 권선형 동기발전기, 영구자석여자 동기발전기로 구별되며, 이들의 특징은 다음과 같다.

- a) 농형 유도발전기 : 발전기의 구조는 간단하나, 출력특성상 운전의 폭이 매우 좁다.
- b) 권선형 유도발전기 : 가변속 정주파수 운전이 가능하고, 회전자 회로를 통한 여자제어로 운전영역의 확장이 가능하다. 발전기 자체의 한정된 출력비(출력/무게 : kW/kg) 때문에 부피가 크고, 기어가 필요하기 때문에 발전기 지지대 등 튼튼한 하부구조가 필요하다.
- c) 일반 권선형 동기발전기 : 가변속 정전압 운전이 가능하고, 전력변환장치에 의한 정전압 정주파수 변환이 가능하므로 터빈선택의 폭이 넓은 편이다. 다극기 제작에 의한 기어없는 형태의 발전기가 가능하고, 높은 효율과 역율을 나타내고 있다.
- d) 영구자석여자 동기발전기 : 새로운 영구자석 재료와 설계기술의 발달로 높은 출력밀도를 가지는 영구자석여자 동기가 산업의 전반에 적용되고 있는데 이를 풍력발전에 적용시 다음과 같은 장점이 있다.
 - 넓은 운전범위와 고효율
 - 발전기의 고출력비(kW/kg)
 - 경량화된 발전기와 기어없는 구조에 의한 하부구조의 경량화
 - 유지보수의 간략화(슬립링과 브러쉬 필요 없음)

풍력발전설비의 컨트롤러는 기계적 제어장치(피치각제어, 요각제어, 브레이크제어), 발전기의 제어·보호장치 및 전력변환장치와, 교류계통과의 인터페이스에 필요한 연계설비로 구성된다. 발전기와 전력변환장치의 구성에 따라 AC/AC링크방식과 AC/DC/AC링크방식으로 나눌 수 있으며, 연계설비의 구성은 태양광발전장치의 경우와 마찬가지로 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기)+ 변압기+ 측정설비+ 보상장치(필터, 역률 보상장치 등) 등으로 구성되어 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다. 컨트롤러이외의 풍력발전설비의 각 요소에 대한 기능을 다음에 간략히 기술한다.

블레이드(날개)는 풍력발전의 회전력을 얻는 부분으로서 2매 및 3매 방식이 있다. 3매방식은 2매방식에 비해 연간 발전량이 수 퍼센트 정도 유리하며, 진동특성의 면에서도 유리하다. 2매 방식은 날개를 수평으로 유지할 수 있기 때문에 바람의 방향에 관계없이 실속(失速) flutter의 위험성을 적게 할 수 있어 강풍시 날개에 걸리는 하중을 작게 할 수 있다. 따라서 나셀 및 타워의 경량화를 꾀할 수 있다.

로터는 날개를 회전축에 붙이기 위한 허브 및 날개피치각의 가변구조로 구성되어 있다. 로터는 바람으로부터 에너지를 흡수함과 동시에 시스템의 안전성을 확보하는 중요한 요소이다.

나셀유니트는 풍력에 의해 얻어진 로터의 회전 에너지를 전기로 변환하는데 필요한 장치와 변동하는 풍향 및 풍속에 대한 제어구동장치를 나셀 내에 수용하여 타워상에 설치되는 것으로서 가변 피치각구동장치, 브레이크, 발전기, 요구동장치 등으로 구성된다.

가변피치각구동장치는 기동풍속이상시 로터의 기동 토크를 충분히 얻기 위한 기동운전, 정격 풍속이상에서의 정격출력을 일정하게 하기 위한 정격운전 및 강풍속(컷아웃풍속 이상)시 또는 저풍속(컷인풍속)시의 정지 등에 날개의 피치각을 적절히 변화시켜 로터의 회전수 및 출력을 제어하는 장치이다. 가변피치구동장치는 변동이 심한 하중조건을 이겨낼 필요가 있으며, 또한 한랭지역에서의 사용조건을 고려해 로터추축실내에 가변피치구동용 유압실린더와 회전계수(回轉繼手)등을 갖는다. 나셀내에 설치된 유압유니트에 의해 구동 쪽이 안전하고 싸다.

브레이크는 강풍시 및 이상시 또는 보수점검시에 로터를 정지시키기 위해서 필요한 장치이다. 로터를 정지시킬 경우, 날개를 가변피치구동장치에 의해 휘더링시켜 로터가 충분히 감속내지는 정지시킨 후에 브레이크를 동작시키도록 하면 소형화가 가능하다.

발전기는 풍속에 의해 회전에너지를 전기에너지로 변환하는 장치로서 동기발전기와 유도발전기가 있다. 일반적으로 발전기는 증속기를 개입시켜 풍차에 직결되어 나셀내에 설치된다.

요구동장치는 프로펠러형풍차의 경우, 끊임없이 변동하는 풍향에 대해서 고효율 에너지를 얻기 위해 날개를 풍향에 정면으로 할 필요가 있다. 이 때문에 요제어는 날개의 강도 및 진동측면에서도 대단히 중요하다.

타워는 트래스식과 모노포울식의 두종류가 있다. 모노포울방식은 트래스식에 비해서 경량이고 제작이 용이하며, 현지조립도 단시간내로 가능하다.

1) 기계적 제어장치

기계적 제어장치에는 날개의 피치각을 제어하는

기능, 풍향에 대해서 고효율로 에너지를 얻기 위한 요각을 제어하는 기능, 강풍 및 이상시 또는 보수 점검시 로터를 정지시키는 브레이크기능 등이 포함 되어 있다.

가변피치제어장치는 날개의 각도를 풍속 및 출력에 대응하여 변화시키는 장치로서, 출력조정, 저풍속에서의 기동기능, 강풍 등에 대한 유연성, 고효율 등의 이점이 있다.

가변피치제어, 요각제어, 브레이크제어 등은 풍력 발전장치에 있어서 주요한 기능이므로 대부분의 장치의 경우 이들은 마이크로프로세서에 의해 전체적으로 제어하는 형태로 제작되고 있다.

2) 발전기의 제어·보호장치

계통연계형 풍력발전장치의 경우, 바람에 의해 얻어진 전력은 전부 연계계통에 공급하는 형태가 바람직하므로 부하추중운전 또는 정출력운전 등의 유효전력제어요소는 그다지 중요하지 않다.

AC/DC/AC 방식의 경우, 풍력발전기(동기발전기)가 일정하게 60Hz가 유지되기가 어려우므로 정류기의 설계시 이를 고려하여 주파수 추종방식의 정류방식을 선택해야한다. 또한 역률 조정관계는 변환장치와의 협조에 의해 계통연계점에서의 출력역률을 조정할 수 있도록 해야 한다. 또한 변환장치의 효율향상과 고조파저감대책을 고려하여야 한다.

AC/AC방식의 경우는 그 적용되는 발전기가 대부분이 유도발전기인데 기동시의 돌입전류억제를 위한 한류리액터의 제어기능 및 역률보상용 콘덴서의 제어기능이 필수적이다. 권선형에서는 2차여자 권선의 삽입으로 피치제어와 협조하여 안정된 슬립 운전점을 확보할 수 있는 잇점이 있다.

3) 연계설비

연계설비의 구성은 태양광발전장치의 경우와 마찬가지로 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기)+ 변압기+측정설비+보상장치(필터, 역률보상장치 등) 등으로 구성되어 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다. 특히, 유도발전기의 경우 소프트기동을 위한 한류리액터, 역률보상용 콘덴서와 이의 투입·해열제어장치 등이 포함되어야 하며, 자기여자에 의한 철공진현상방지를 위한 용량선정도 고려해야 한다.

측정설비로서는 인버터의 제어에 필요한 피이드백요소인 전압, 전류, 주파수 등을 측정할 수 있는 설비로 이들은 보안감시용으로도 필요하다. 또한 역조류가 있는 경우는 전력회사와의 전력요금 산정에 필요한 유효전력량계 및 무효전력량계를 설치할 필요가 있다.

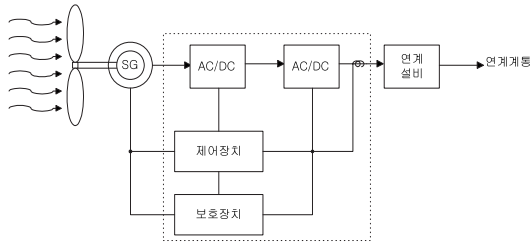


Fig. 3 일반 권선형 또는 영구자석 동기발전기 (AC/DC/AC링크방식)

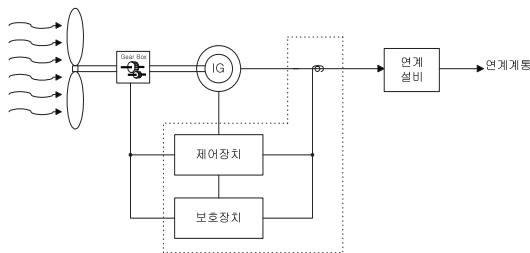


Fig. 4 농형유도발전기(AC/AC링크방식)

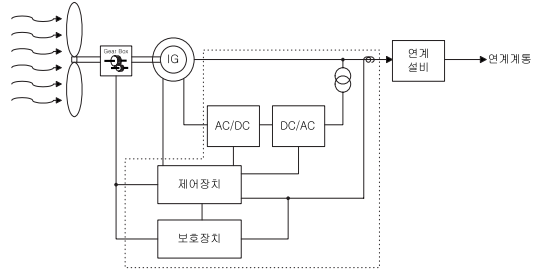


Fig. 5 권선형유도발전기(AC/AC링크방식)

4. 태양광 선박의 분산전원 도입

앞서 언급한 신재생에너지 중에서 태양광 발전 시스템과 선박의 디젤발전기를 결합한 하이브리드 형태의 선박이 앞으로 각광받을 것으로 예상된다. 이러한 선박을 스마트 태양광 하이브리드 선박이라 명명한다.

기존의 태양광 발전시스템의 경우에는 일반적으로 독립형 또는 계통연계형으로 구분되어 운용되는데, 독립형 시스템의 경우에는 축전지를 포함하게 되며 부하사용을 하지 않을 시에 축전지에 완충이 되게되면 태양광 발전이 가능한 상태에서 발전을 하지 않은 모드가 되는 경우가 발생하게 된다.

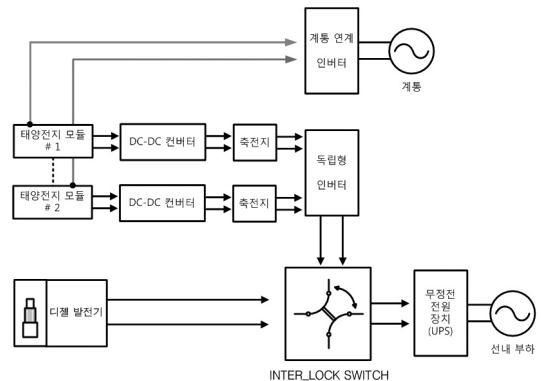


Fig. 6 태양광 하이브리드 시스템 개략도

그리고 계통연계형의 경우에는 축전지 없이 발생된 전력을 바로 한전 계통에 보내고 필요할 때 공급받는 형태로 되어 있다. 하지만 계통연계형 인버터의 경우 태양전지 모듈의 출력 전압이 높아야 하므로 기존의 독립형 태양전지 모듈의 결선 상태로는 바로 접속할 수 없으며, 별도의 DC-DC 컨버터를 요구하게 된다.

하지만 스마트 태양광 하이브리드 선박 시스템을 스마트 그리드 분산전원화 한 것으로, 상세하게 선박 운항중일 때나 선내 부하 사용시에 태양광 발전이 가능할 경우에는 독립형 태양광 발전 모드로 운전하여 선내 부하에 전력을 공급하게 된다. 그리고 선박이 운항을 마치고 항구에 정박하여 선내 부하를 사용하지 않을 시에는 태양전지 모듈의 결선을 변경하여 계통연계 인버터의 입력 전압 범위를 만족시킨 후에 계통에 접속하여 전력을 공급하게 된다. 스마트 그리드에 연계하여 분산전원으로 구성이 가능하며, 항구에 계통연계 접속함 스탠드를 구성하고, 스마트 태양광 하이브리드 선박들이 항구에 들어오게 되면 플러그 인(Plug-In)하여 손쉽게 연계할 수 있도록 한다.

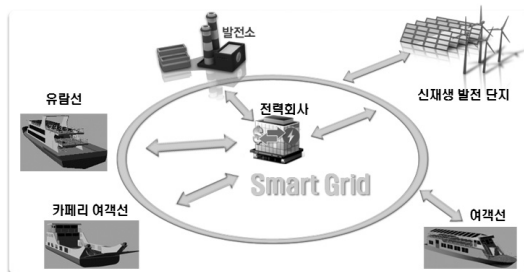


Fig. 7 스마트 태양광 선박의 분산전원화

5. 결론 및 제언

국제적으로 현재 주요 에너지원인 화석연료의 고갈과 함께 환경오염에 따른 지구 온난화 등 부작용으로 인하여 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경적이면서 효율이 높은 태양광 에너지의 중요성이 강조되고 있다. 즉, 석유는 2010~2020년, 천연가스는 2020~2025년에 생산량이 정점에 도달할 것으로 예상되고 있는 만큼 이들을 대체할 수 있는 에너지원의 개발이 시급하며, 지구환경의 오염에 대한 경각심이 높아지고 있는 현재의 상황에서 1997년 온실가스 감축을 위한 교토의정서가 채택되어 우리나라를 비롯한 119개국이 2003년에 비준하였으며, 선진국은 2008년 이후 온실가스 배출량 감축이 의무화되었고, 우리나라도 2차 공약 기간 중(2013~2017년) 온실가스 감축의무 부담이 가시화될 전망이다. 이러한 상황에서 태양광 에너지가 갖는 효용성에 대한 관심이 급증하고 있는바, 태양광 발전은 무한하게 존재하는 태양광 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 과정에서 이산화탄소 및 공해물질을 전혀 배출하지 않으므로 환경 파괴의 문제도 없기 때문이다. 그리고 이러한 태양광 발전 시스템을 기존의 선박 시스템에 결합하여 스마트 태양광 하이브리드 선박을 널리 보급하면 또 하나의 새로운 분산전원으로 자리 잡게 될 것이다.

선박의 독립형 태양광 발전설비를 이용하여 선박 내 각종 전기설비의 작동에 필요로 하는 전기에너지를 얻을 수 있으므로 선박에 사용되는 화석연료 에너지의 절감을 통해서 전력의 생산에 소요되는 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 화석연료 사용으로 인한 배출가스를 감축시킬 수 있어 환경오염을 최소화할 수 있는 효과가 있다. 또한

선박 내 각종 전기설비에 대한 전원의 공급원을 다량의 연료를 소비하는 기존의 전기발전설비에 전적으로 의존하지 않게 되므로 비상시 전력의 운용에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 효과가 있다.

참 고 문 헌

- (1) [특집:신에너지기술] 분산형 전원용 전력변환 장치 기술동향 및 시장전망, 유권중, 전력전자학회지, 제6권 제2호 2001.4, page(s): 25-29
- (2) V. Kaura and V. Blasko, "Operation of a Phase Locked Loop System Under Distorted Utility Conditions", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 33, no. 1, 1997, pp. 58-63.
- (3) Zhihong Ye, L. Li, L. Garces, C. Wang, R. Zhang, M. Dame, "A New Family of Active Anti-Islanding Schemes Based on DQ Implementation For Grid-Connected Inverters", Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual, vol.1, 20-25 June 2004 Page(s):235 - 241
- (4) IEEE Std 929-2000 IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems.
- (5) Y Jung, J Choi, B Yu, G Yu, "Optimal Design of Active Anti-islanding Method Using Digital PLL for Grid-connected Inverters", Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE, 18-22 June 2006, On page(s): 1- 6
- (6) 임정민 "태양광 발전시스템 적용을 위한 계통 연계형 전류형 PWM 인버터에 관한 연구", 미간행 석사학위청구논문 : 목포대학교 대학원 2005.