

태양광 발전(Photovoltaic) 기술 동향

임 희 천*, 안 교 상**

(전력연구원 *책임연구원, **선임보 연구원)

깨끗한 에너지원으로 주목받고 있는 태양광발전은 대체 에너지원 중에서도 가장 실용화에 가까운 발전방식이다. 태양광 발전방식은 지구상에서 가장 풍부한 태양의 빛 에너지를 자원으로 하기 때문에 무한한 자원을 가지고 있으며, 운전 및 유지, 보수가 용이하고 발전설비 용량 선택이 자유롭다는 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 태양광발전은 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기 피크 전력 소비 시간대와 비슷하여 전력사업용 및 주택 건물용으로 전력계통과 연계 운전 시 전력수급 불균형 해소에 기여할 수도 있다. 또한 특성상 주택 및 건물의 지붕 등에 다양한 형태로 설치함으로써 국내 부존 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 전력 공급원으로 주목받고 있다. 이에 따라 정부에서는 대체에너지 3대 중점과제로 선정 이의 실용화 및 보급에 박차를 가하고 있다.

전력연구원에서도 대체에너지 발전 원으로 태양광 발전 시스템 보급 및 실용화를 위하여 우선 도서지역 전화사업을 위한 독립형 태양광 발전 시스템을 개발 마라도, 하화도, 호도 등에 보급함으로써 도서지역 주민 삶의 질 향상에 기여하였고, 현재는 분산 전원으로 태양광 발전 설비의 실 전력계통 도입에 대비하여 50 kW급 계통연계 태양광 발전 시스템 및 주택용 태양광 발전시스템 개발을 진행하여오고 있다.

본 고에서는 청정 에너지원으로 부각되고 있는 태양광 발전에 대한 기본 이론과 기술개발현황과 전력연구원에서 수행하는 태양광발전 이용기술에 대하여 소개하고자 한다.

1. 태양광 발전의 역사

태양광을 이용하는 태양전지(Solar Cell) 역사는 1839년 프랑스 실험 물리학자 Edmund Becquerel이 광기전력효과를 발견하면서 시작되어 이론적 연구가 진행되었다. 1876년

반도체와 금속사이에 빛을 넣게 되면 기전력이 발생하는 Se 광전지가 발표되어 광전지가 에너지 변환소자로 활용되는 계기를 열어주었다. 현재 활용되고 있는 태양전지(단결정 실리콘 태양전지)는 1954년 미국 Bell 연구소 Pearson 등에 의하여 최초로 발명되었고 당시 태양전지 변환효율은 6% 정도로 아주 낮은 효율이었다. 태양전지를 가장 먼저 전원장치로 이용한 곳은 우주선 용 전원이었다. 1958년 인공위성 Vanguard I 호에 통신용 전원으로 탑재되어 8년 간 운영되었고, 1959년에 9,600개의 태양전지 셀 (1cm²×2cm²)로 구성된 태양전지 어레이(Array)를 전원으로 하는 Explorer VII를 발사하게 되어 본격적으로 활용되었고 이는 현재까지도 기상 및 방송용 위성 전원으로 활용되고 있다.

태양전지는 초기에는 우주산업에 적용되어 왔으며, 지상의 태양전지 개발에 대해 본격적으로 세계적으로 검토되기 시작

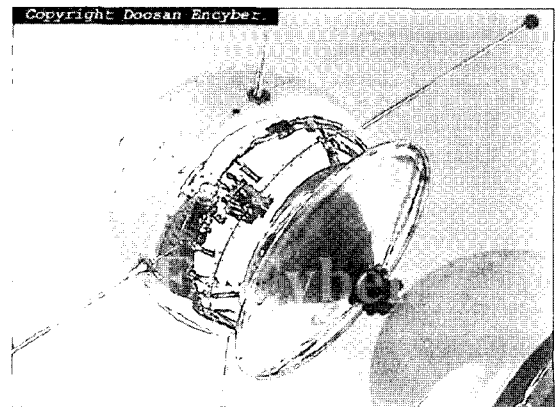


그림 1. Vanguard I 호(최초 태양전지 탑재)

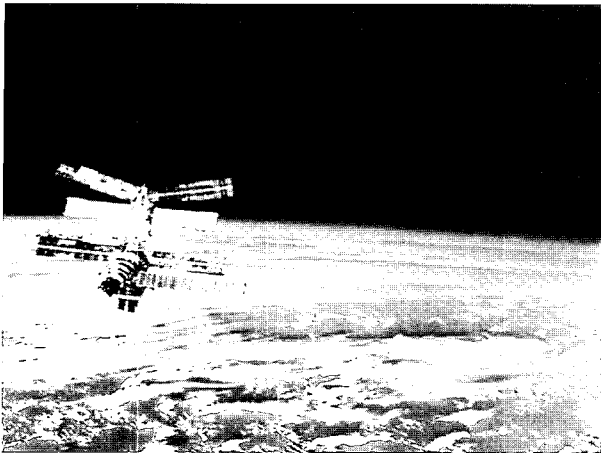


그림 2 인공위성 (미르호)

한 것은 제1차오일 쇼크 이후가 된다. 석유자원 대체 에너지 원으로 저가격 태양전지 개발이 선진 각국사이에서 국가 프로젝트로 수행되게 됨으로써 본격적인 상용 개발이 착수되게 된다. 일본은 1974년에 선-샤인 계획(1980 후반부터 뉴 선-샤인 계획으로 변경)이 시작되었으며, 미국에서도 1975년부터 에너지 성(DOE)이 주도로 우주용 태양전지를 상용전원으로 활용하는 대규모 프로젝트를 시작하였다.

우주와 지상은 환경이 많이 틀리기 때문에, 신뢰성 이외에 다양한 성능이 요구된다. 따라서 우주용 태양전지를 지상에 적용하기 위한 다양한 연구가 1970년대 중반부터 시도되어 1980년대에는 집광 형 등 태양광 시스템 효율화를 위한 기술 및 다양한 소재로 태양전지를 만드는 기술 등을 시도하여 여러 형태의 태양전지가 이때 제안되어 현재 태양전지 개발의 토대가 되고 있다. 이중 연구개발이 진행되어 현재 지상에서 실용화되어 사용할 수 있는 태양 전지의 주류가 된 것은 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지이다.

민간에서 사용되는 태양광 발전 분야에서는 비정질 태양전지 등도 많이 사용 되고 있지만 2000년까지 지상용 상용 발전 설비로서 사용되어 온 것은 단결정과 다결정 실리콘 태양전지이다. 이후 1980년부터 2000년까지 20년 동안은 이들 기술이 실용화 및 제조비 저감을 위한 저 코스트화에 대한 많은 노력을 기울이고 있다. 현 단계에서는 가장 실용화에 근접한 단 결정, 다 결정 실리콘 태양전지 고 효율화 외에도 신 재료 또는 소자 구조 태양전지 개발노력이 이루어지고 있다. 특히 태양전지 제조에 있어서는 효율을 극대화하기 위한 노력 및 저 코스트 화를 위한 박막 형 태양전지 개발이 많은 관심을 가지고 개발이 진행되고 있다. 이외에도 시스템 분야에 있어서는 태양광발전 시스템의 표준화 및 저 가화를 위한 노력, 양산화 방안 과 계통 연계 시 문제점 해결을 통한 태양광 발전의 보급을 촉진을 추진하고 있다.

그림 3. 다결정 실리콘 태양전지(10 cm² × 10 cm²)

그림 4. 단결정 실리콘 태양전지(10 cm² × 10 cm²)

2. 태양광발전의 원리

2.1 태양에너지 개요

태양광 발전의 에너지원은 태양광이다. 원리를 이야기하기 전 그 성질을 알아보면 다음과 같다. 지구상에 도달하는 태양 에너지를 전력으로 환산하면 1.77×10^{14} kW 로 전 세계 전력소비의 10만 배 정도로 알려지고 있다. 이와 같은 태양에너지는 태양에서 수소와 헬륨 (He)의 핵융합 때 손실 질량에너지가 전자파로 방사되어 지구상에 빛이 되어 도달하게 되는데 이때 파장이 380 Nano m(1×10^{-9} m)보다 짧은 광을 자외선 380에서 780 Nano m 까지 광을 가시광선 그리고 780 Nano m 이상을 적외선으로 부르며, 파장이 짧을수록 많은 에너지를 갖게 된다.

태양광은 지구 표면에 도달하면 오존층에서 자외선이, 수증기에 의해 적외선이 흡수되고 이외에도 구름이나 먼지 등에 의해 흡수되어 감쇠된다. 이러한 감쇠는 빛이 대기권을 통과하는 거리가 길면 크고, 태양과 지표면과의 각도에도 관계 된다. 시간으로 보

면, 아침, 저녁으로 태양고도가 낮거나, 계절로는 겨울 그리고 위도가 높은 지역이 감쇠가 크며 반대로 점심때, 적도부근 여름이 적어진다. 이러한 감쇠 정도를 AM(Air Mass)로 표시하는데 AM 0는 지구 대기권 밖의 spectrum 이고, AM 1은 태양이 천정에 있을 때 해발 0에서 쾌청한 상태에서 spectrum을 표준화한 에너지 값으로 약 925 W/m^2 이고 국내의 경우 겨울 청정 시 정도의 spectrum 값은 1.5 가된다. 이러한 값은 태양전지의 성능을 나타내는 값으로 보통 모듈 성능을 표시할 때 측정조건 AM 1.5 등으로 표시하여 나타낸다.

아주 맑은 하늘에서 정오일 때의 지구상에 도달하는 태양에너지 밀도는(최대일사 강도)는 대략 1 kW/m^2 로 된다. 그러나 이와 같은 값은 이상적인 값으로 보통 기상, 계절 그리고 시간 등에 따라 크게 변화하며 우리나라의 경우 0.27에서 0.37 kW/m^2 정도가 되는 것으로 알려지고 있다.

2.2 태양광 발전 원리

지구상에 도달하는 태양에너지를 광전변환소자를 이용 광기전력을 발생하는 광기전력효과(Photo Voltaic Effect)를 이용하여 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전 방식을 태양광 발전이라 하며, 여기에 사용되는 광 변환소자를 태양전지(solar cell)라고 한다. 태양전지는 태양의 빛에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 반도체 소자로서 p형의 반도체와 n형의 반도체의 접합형태를 가지며 그 기본구조는 다이오드와 동일하다.

태양전지 구조는 단결정 규소 태양전지의 경우 주기율표 상 4가 원소인 실리콘(Si)에 5가 원소인(인, 비소, 안티몬) 등을 첨가시킨 n-형 반도체와 3가 원소(붕소, 갈륨) 등을 첨가시켜 만든 p-형 반도체를 접합시켜 다이오드 형태의 p-n 접합 태양전지가 얻어진다.

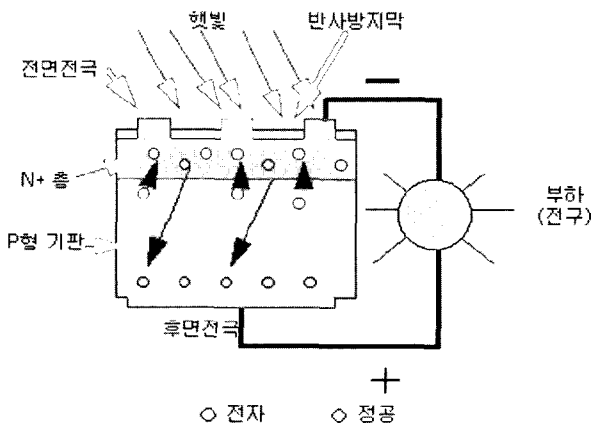


그림 5. 태양전지 구조 및 동작원리

이러한 태양전지가 빛을 받으면, 광기전력 효과에 의하여 태양전지 내부에 침투한 광자(Photon)는 반도체 내부에서 전자(electron), 정공(hole) 쌍을 발생시킨다. 그리고 전자는 (-) 전극으로 정공은 (+) 전극으로 모이게 된다. 여기에 태양전지 양단 전극에 외부의 도선을 연결시키면 전류가 (+)극에서 (-)극으로 흐르게 되어 전기를 발생하게 된다.

이와 같은 현상은 p-n 접합을 이루고 있는 반도체 내에 불순물 농도 차이에 의하여 n-형 반도체에서 높은 농도의 전자(electron)가 p-형 반도체로 확산되어 가고 동시에 p-형 반도체에서는 정공(hole)이 n-형 반도체로 확산되어 가서 p-n 접합부분에서 밀집되어 내부 전위차를 형성하게 되기 때문이다. 이때 금지 대 폭(energy gap) 이상의 에너지를 갖는 태양에너지의 광자(photon)가 태양전지 내에 들어오면 광 흡수층인 n-형(또는 p-형) 반도체에서 흡수되고 이때 전자를 여기시켜 전도대로 이동시키면서 정공을 생성한다.

이와 같이 생성된 전자-정공 쌍(electron-hole pair)은 내부의 소수 전하(minority carrier)의 농도차를 발생시키고 아울러 광흡수에 의해 생성된 전하들은 새로운 확산력에 의하여 광기전력을 생성시킨다. 그리고 이때 p-n 접합 양단 전극에 외부의 도선을 연결시키면 n-형에서는 전자가 외부도선으로 이동하고 반면에 p-형 반도체에서는 정공이 외부도선으로 흐르게 된다.

3. 태양광 발전의 특징

태양광 발전은 반도체 소자인 태양전지를 이용 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 새로운 직접 발전방식으로, 태양의 빛을 이용함으로써 무한한 에너지원을 활용할 수 있으면서 공해요인이 없는 청정 발전 방식이다. 또한 사용 시 운전이 용이하고, 운전 관리비를 최소화 할 수 있으며, 설치 또는 이동이 용이한 규격화된 모듈 구조로 생산되기 때문에 적용성이 뛰어나다 등의 여러 가지 장점을 갖고 있다. 이와 같은 이유로, 현재까지 개발된 재생 에너지 자원 중 가장 안정되게 운용될 수 있는 대체에너지 발전 원으로 각광을 받고 있다. 반면에 지표면에 떨어지는 태양의 빛 에너지는 단위 면적당 출력이 적어 이를 전력용으로 사용하기 위해서는 넓은 면적이 필요하고 또한 기상조건 특히 일사 조건에 따라서 발전량이 민감하게 변하는 문제점을 갖고 있다.

태양광 발전시스템의 주요한 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째로는 태양의 빛 에너지를 이용함에 따라서 광대한 양의 태양 에너지를 지구상에서 얻을 수 있다는 점이다. 특히 에너지 자원이 부족한 국내의 경우 local energy를 활용할 수 있다는 점에서 국내 부존 에너지 자원 활용 효과를 높이는 것이 가능하다. 둘째로 태양광 발전은 태양에너지를 연료로 이용하기 때문에 연소과정이 없어 공해문제를 일으키지 않는 청

정에너지원이라는 점도 커다란 장점이다. 셋째로는 태양광 발전 방식은 태양전지라는 반도체 소자를 사용하는 직접 발전방식으로 기존의 화력 발전 방식에 비하여 회전기기를 갖고 있지 않아 소음이 없고 관리 및 유지 보수가 용이하다는 점이다. 이외에도 태양전지는 모듈화가 가능하기 때문에 대량생산이 가능하고 규모의 확장성도 크며, 가볍고, 규격화되어 수용가의 요구에 따라서 적정 용량을 어디에서도 설치할 수 있다. 넷째로 태양광 발전 시스템은 실 수요지에 직접 설치가 가능하므로 송배전 설비를 설치하지 않아도 되기 때문에 송배전 설비의 설비비 및 손실을 줄일 수 있으며, 아울러 단기간에 건설할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

그러나 단점으로는 우선 태양광 발전에 의하여 발전되는 전력 생산량은 자연 환경인 일사량에 의존하기 때문에 설비 이용율이 낮고 자연 조건에 따라 출력의 변화가 크다는 점이다. 두 번째 태양광 발전시스템은 에너지밀도가 낮은 태양광을 이용하기 때문에 대 전력을 얻기 위하여 상당히 많은 면적의 부지가 필요하다는 것이다. 또한 태양 전지로부터 출력이 직류이기 때문에 이를 교류로 변환하기 위한 별도의 전력변환 시스템을 필요로 한다.

표 1은 태양 에너지를 이용한 분산형 에너지 시스템으로서 태양광 발전이 갖고 있는 여러 가지 특징을 보여주고 있다.

표 1. 태양광 발전시스템의 특징

태양빛 에너지 이용	<ul style="list-style-type: none"> 태양 에너지 양은 무한하다 비 고갈 에너지이다 청정에너지이다 지역적 편재성이 적다 연료를 수송할 필요가 없다. 기상상태 영향을 받는다
반도체 소자	<ul style="list-style-type: none"> 직접 발전방식으로 시스템이 간단하다 기계적 가동부가 없고 취급이 쉽다. Module화 구성으로 발전규모 선택이 용이하다 Module의 대량생산 시에 비용절감이 가능하다 지붕, 울타리 등의 시설물에 부착 설치로 유휴 공간을 적절히 활용할 수 있다 건설기간이 짧고 flexible해서 경제적인 시설 계획이 가능하다
분산형 에너지 기능	<ul style="list-style-type: none"> 현지에 설치하여 송전 손실이나 비용을 절감할 수 있다 직접 부착형 On site 발전이 가능하다 국지적인 수용가의 요구에 신속한 대응 가능하다 계통선과 연계 배전선 계통의 운전특성을 개선하는 것이 가능하다 (무효전력제어) 지역단위의 전원 다양화에 공헌할 수 있다

4. 태양광 발전 기술

4.1 태양전지 제조기술

태양전지 제조기술은 태양전지 종류에 따라 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지 등으로 크게 분류할 수 있다. 현재 상용화되어 사용되는 태양전지는 앞서도 밝힌 바와 같이 단결정, 다결정 및 비정질 실리콘 태양전지이다. 이들의 현재 변환 효율은 단결정인 경우 18%, 다결정 인 경우가 15% 그리고 비정질 실리콘 태양전지의 경우 10% 정도이다.

현재 가장 많이 보급되어 운용되고 있는 단결정 실리콘 태양전지는 가격이 비싸기는 하지만 전지효율이 타 태양전지에 비해 월등히 높아 대량생산 및 공정 개선에 가격 저하를 도모하고 있다. 다 결정 실리콘 태양전지는 저급의 실리콘 웨이퍼를 사용하기 때문에 효율은 단결정 실리콘에 비해 낮지만 가격이 상대적으로 저렴하기 때문에 현재 주택용 태양광 시스템 등 주로 분산형 전원 시스템용 태양전지로 크게 각광을 받고 있다.

단결정, 다결정 실리콘 태양전지는 실리콘 잉곳(Ingot)을 원재료를 사용하기 때문에 원 재료비가 비싸고, 공정이 복잡하여 비싼 가격으로 실용화 보급 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 우리와 같이 값싼 기판위에 박막형태의 태양전지를 증착 시키는 방법이 제안되고 있다. 가장 먼저 개발되고 박막 태양전지는 비정질 실리콘 태양전지로 기존 태양전지의 약 1/100에 해당하는 두께만으로도 태양전지의 제조가 가능하다. 하지만 결정질 실리콘 태양전지에 비해 효율이 낮고, 특히 초기 빛에 노출될 경우 효율이 급격히 떨어지는 단점이 있다.

다음으로 나온 박막 태양전지가 CdTe, CuInSe₂ 계 화합물 반도체 태양전지이다. 이러한 박막 태양전지는 비정질 실리콘 태양전지에 비하여 효율이 높고, 또한 초기 열화현상이 없는 등 비교적 안정성이 높은 태양전지로 알려지고 있다. 현재 CdTe는 소규모 가전제품용으로 사용되고 있으나 대규모 전력용으로 사용하기 위한 연구개발이 진행되고 있다. CuInSe₂ 태양전지는 실험실적으로 생산된 박막 태양전지 중에서 가장 높은 변환 효율을 기록하고 있다. 이외에도 GaAs 화합물 반도체 태양전지등도 각광을 받고 있다.

최근 주목 받고 또 다른 형태의 다결정 박막 실리콘 태양전지는 실리콘을 원재료로 하고 있고, 또한 박막 태양전지 제조 공정을 이용하여 대량생산을 통해 가격을 획기적으로 절감할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한 GaAs, InP 등의 결정으로부터 만든 화합물 반도체 태양전지는 결정질 실리콘 태양전지 보다 더 높은 효율을 나타내는데, 가장 큰 단점으로는 가격이 매우 비싸다는 점이다. 따라서 그 용도도 지상 발전용 보다는 우주선 등의 전원 공급용에 국한되어 있다. 이의 실용화를 위하여 지상용으로 사용하기 위해서는 값싼 기판위에

박막 형태로 제조하여야 하는데, 아직까지 실용화단계에 이르지 못하고 있다.

4.2 태양광 발전시스템 구성

초기 태양광 발전시스템은 직류 부하를 대상으로 한 소규모 전원용으로 시스템 구성은 태양전지와 축전지로 간단하게 구성되어 있다. 그러나 본격적인 전력 공급 시스템으로 활용하기 위하여 시스템 구성은 계통과 연계되어 운전 될 수 있도록 상용 전력과 같은 교류 출력을 공급 할 수 있는 인버터 등이 부가된 시스템 구성이 일반적이 된다.

태양광 발전의 일반적 구성은 태양전지 어레이(Solar Cell Array), 축전지와 전력변환기 등 주변기기 등의 조합에 따라 여러 가지 형태로 이용시스템을 구성할 수 있다. 태양광으로부터 전기를 발생하는 태양전지 어레이는 원하는 전압, 전류 및 용량을 얻기 위하여 여러 장의 태양전지 모듈(Solar Cell Module)을 직·병렬로 연결하여 이용한다. 직류 부하만을 사용할 때는 여기에 축전장치만 연결되지만 교류부하를 사용하는 경우 반드시 직·교류 변환장치를 필요로 한다. 전력변환장치는 태양광 발전시스템의 특성을 결정하는 주요설비로 단순히 직류전기를 교류전기로 변환시키는 기능 외에도 태양광 발전의 시스템 용도에 맞는 제어성능 예를 들면 계통 보호 기능 및 연계기능 등을 갖추어야만 한다.

4.2.1 독립형 태양광 발전 기술

태양광 발전시스템 이용기술에는 태양광 발전시스템과 계통선의 연결 유무에 따라 크게 독립형(Stand Alone)과 계통연계형(Utility Interactive) 시스템으로 분류할 수 있다. 독립형 태양광 발전시스템은 인근에 계통선이 없거나 계통선 연결이 비경제적일 경우, 즉 예를 들면 낙도나 벽지의 독립가옥 등에 전원을 공급하기 위한 발전시스템이다. 기존의 UPS 시스템과 비슷한 구조를 갖는 독립형 태양광 발전시스템은 직류전원인 태양전지 어레이, 축전지, DC/AC 전력변환장치

(Inverter) 그리고 LC Filter 등으로 구성된다. 현재 국내에 설치되어 있는 대부분 태양광 발전시스템은 독립형 발전시스템으로 연속적으로 태양빛이 없을 경우를 감안하여 축전장치를 필수적으로 설치하여 주어야하며, 경우에 따라서 디젤발전기 등을 보조 발전 원으로 이용 하여야만 한다.

4.2.2 계통 연계형 태양광 발전기술

계통연계형 태양광 발전시스템은 주로 인구가 밀집한 도시 지역 등에 설치하는 것으로 일반 주택이나 건물에 설치되어 분산형 전원으로 사용되는 것이 일반적이다. 용량은 수 kW 급에서 수 MW 규모까지 시스템 구성이 가능하다. 계통연계형 태양광 발전시스템은 일반적으로 감시·제어장치, 전압제어·역류방지회로 및 연계장치 모두가 1대의 전력변환장치(Power Conditioning System)에 내장되어 있다. 또한, 수 kW 정도 용량의 시스템에서는 Power Conditioning System을 일반적으로 인버터라 부른다.

계통 연계형 태양광 발전시스템에서는 상용 전력 계통과 연계되기 때문에 배전선의 상태 변화에 대한 추종성이 양호하고 또한 계통의 주파수나 전압 변동 등에 대한 운용능력, 계통 사고 시 적절한 대응기능 등을 보유하여야 한다. 일반적으로 계통과 연계되는 경우에 정 전압, 정 주파수 및 출력 고조파의 함유량이 적고, 무효전력 제어가 가능하며, 높은 전력 변환 효율 및 태양전지의 최대출력 제어가 가능하도록 구성되어야 한다.

계통 연계 형에서 역 조류 가능한 시스템에서는 계통이 축전지를 대신할 수가 있기 때문에 기본적으로 축전지를 설치할 필요는 없다. 한편, 계통 연계 형에서도 역 조류를 하지 않는 경우에는 태양전지 출력 잉여분을 저장하기 위해서는 축전지가 필요하게 된다. 또, 역 조류 가능한 경우에도 태양광 발전시스템 출력변동을 억제할 필요가 있을 경우나 발전출력의 Peak를 Shift시킬 경우에는 전력저장용 축전지의 설치가 필요하게 된다.

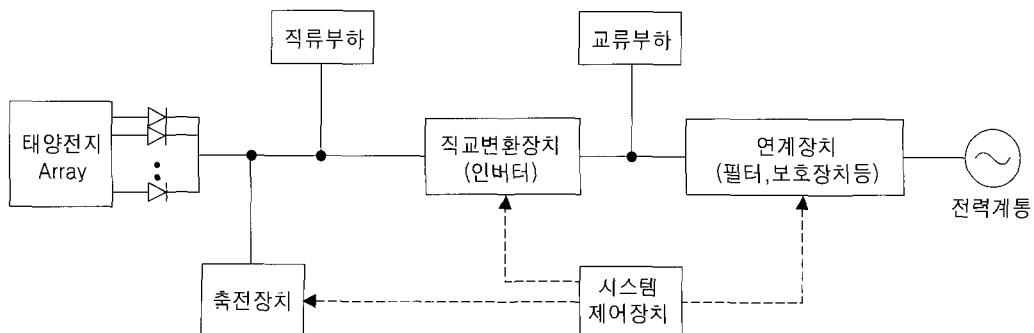
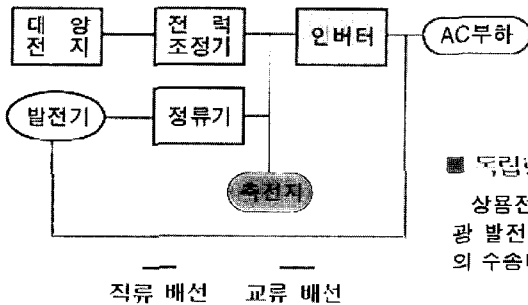
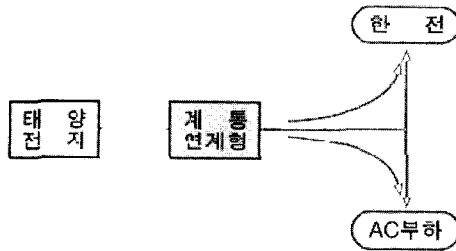


그림 6. 태양광 발전시스템의 구성도

■ 계통연계형 시스템

상용전력계통과 직접 연결된 발전시스템으로 태양광 발전시스템과 전력계통은 부하 소비전력을 서로 분담한다.



■ 독립형 시스템

상용전력계통과 관계를 갖지 않는 태양광 발전시스템으로 배전선 건설과 연료의 수송비가 비쌀 경우 유리하다.

그림 7. 태양광 발전시스템의 구성

4.3 계통연계 제어기술

향후 태양광발전시스템의 이용형태를 살펴보면, 주택의 지붕이나 빌딩의 옥상에 태양전지 어레이를 설치하고 출력을 배전선과 연계하여 상용전원과 조합해서 유효하게 이용하는 계통연계형 시스템이 상당히 보급될 것으로 기대되고 있다. 그러나 불특정 다수의 소형 태양광발전시스템을 계통연계하는 경우는 배전선의 전력품질, 안정성, 안정성에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 이들 발전시스템의 본격적인 보급에 앞서서 미리 계통연계운전에 의해 발생할 기술적인 문제점을 해명하고 그 대책기술에 관해서 확립되어야 할 필요가 있다.

「불특정 다수의 소형 태양광발전시스템이 배전계통과 연계한다」라는 것은 전기적으로는 본래, 발전설비가 존재하지 않는 전력소비지역에 다수의 발전소가 출현할 사태, 또는 발전소, 변전소, 배전선이라 할 배전 부분과 부하라는 명확히 역할이 구분되던 전력계통에서 그것들이 인접하여 혼재하는 전력계통으로서 변화라는 새로운 경우의 발생을 의미한다. 따라서 태양광발전시스템의 계통연계기술을 확립하기 위해서는 시스템 자체 성능확인 이외에 그 연계할 부분, 다시 말하면 배전선계통으로의 영향, 또는 그 주변부분에 존재하는 전기제품을 중심으로한 부하에로의 영향확인도 필요하다. 이들의 확인, 즉 이러한 기술적 평가는 전력품질, 안정성, 안전성의 면에서 행하는 것이지만 구체적으로는 태양광발전시스템에서 본 평가, 전기제품에서 본 평가, 전력계통에서 본 평가의 종합평가가 이루어져야 한다.

계통연계를 위한 주요 실증시험항목으로서는 다음의 것이

고려될 수 있다.

- ① 발전특성, 전압변동
- ② 고조파 왜곡
- ③ 고주파 전자유도 장애
- ④ 순간전압저하
- ⑤ 순간전압차단
- ⑥ 지락고장
- ⑦ 단락고장
- ⑧ 역충전 현상

그러나 현실적으로 발생이 예상되는 현상으로서의 그와 같은 단순한 것에서부터 여러 가지가 일시에 발생하는 복합현상도 당연히 고려될 수 있다. 예를 들면 태양광발전시스템들이 존재하는 계통에서의 「지락고장과 단락고장이 동시 발생하는 경우」, 「역충전 현상 중에 다시 폐회로가 발생하는 경우」, 「지락 고장중의 고조파 왜곡」 등 다양하게 조합된 현상이 발생할 수 있다.

기존의 교류계통과 태양광발전시스템을 공급하여 운용할 경우에는 이 둘을 결합하는 인터페이스로서 계통연계장치가 필요하다. 연계장치에 필요한 기능은 예를 들면 스위치 기능(동기 투입, 해제), 방향별 적산전력량 계측, 전력계통으로의 진입 서지의 차단, 사고시 제어·보호 등 각종 기능이 요구된다.

이 장치에 사용될 구성요소는 연계보호장치, 적산전력계, 차단스위치, 차단 휴즈, 연계개폐기, 변압기, 필터소자이다. 연계보호장치에 관해서는 일본에서는 계통연계 기술요건 가이드 라인으로 제정되어 있다. 대부분의 국가에서는 현재 태

양광발전시스템으로부터 계통으로 송출된 전력(역조류)을 수용가가 전력회사로부터 받은 전력과 비슷한 수준의 요금으로 설정하여 구매하도록 법적으로 의무화하고 있다. 이 때문에 수용가에서 보면 전력계통이 축전지처럼 거동하여 시스템은 간략화 되므로 비용(경제성)면에서의 장점이 크다.

4.4 계통연계 태양광발전용 인버터 기술요건

개인주택용을 비롯한 계통연계형 태양광발전시스템은 태양 전지 출력을 최대한으로 활용하기 위하여 태양광 발전출력이 가정의 부하를 상회한 때에는 그 여분을 배전선에 보내는 역조류 운전을 하고, 우천, 야간 등 발전출력이 부족한 때에는 계통에서 공급받는 쌍방향 조류방식이 효과적이다.

따라서 향후 계통연계 태양광발전시스템이 실용화 보급되어 다수의 시스템이 계통과 연계할 경우 여러 가지 문제가 발생되는데, 그 중 대표적인 것을 들면 다음과 같다.

- ① 계통전력 품질 열화의 문제 : 전압변동의 증대, 불필요한 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력 품질의 열화
- ② 계통보호, 안정성의 문제 : 배전선 보호 시스템에의 교란에 의한 공급 신뢰도의 저하, 태양광발전시스템으로부터의 역충전에 의한 선로작업시 안전성의 저하 등

이 중 ①의 문제는, 일사량 변화에 따른 태양광발전 출력의 변동성분이 계통에 영향을 주고 또 태양광발전시스템이 직·교류 전력변환에 전력반도체 스위칭 소자를 사용하기 때문이다.

태양전지 출력변동에 의한 전압변동요인은 발전원리상 일사량 조건에 의존하기 때문에 필연적인 것이라 볼 수 있다. 최근 Power Electronics 기술의 급속한 발전에 따라, 가전·OA기기로부터 산업용 기기에 이르기까지 폭넓게 반도체 응용기기의 보급이 증가하였다. 이에 따라 고조파 전류의 총량이 눈에 띄게 증가하여, 전력계통의 전압왜곡으로 인한 각종 장애가 발생 하므로서 고조파가 가장 큰 문제가 되고 있다.

더우기 개인주택용을 비롯한 계통연계형 태양광 발전시스템의 보급이 보편화 될 경우 직·교류 변환장치 사용에 따른 고조파의 유입에 의해 계통의 전력품질이 더 악화될 우려가 있다.

표 2. IEEE 519 전압 왜형 규격

구 분	2.3~69kV	69~138kV	> 138 kV
각차 고조파 최대치	4.0	1.5	1.0
총합 고조파 왜율 (THD)	7.0	2.5	1.5

※ 고조파 전압 제한치(Vh/Vf)임.

유럽, 미국 등 선진국에서는 이미 IEC, CIGRE, IEEE 등의 주도로 고조파 억제를 위한 규격(IEC555, IEEE519)이 제정되어 세계각국에서 통용될 전망이다. 표 2는 IEC 및 IEEE의 고조파 규제 규격을 나타낸 것이다.

고조파 억제 방법 및 대책 중 가장 바람직한 방법은 장치로부터 고조파를 발생시키지 않도록 하는 것이다. 그러나 스위칭을 기본 동작으로 하는 반도체 전력변환장치에 있어서는 본질적으로 고조파를 발생시키지 않는 것은 극히 곤란하다. 그러나 장치의 용도에 따라 PWM 제어 방식을 채용하고, Active Filter를 부착하여 적극적으로 고조파를 제거하는 방법, 다상화 또는 Multi-level 화하는 방법이 사용되고 있다.

따라서 태양광 발전용 인버터의 경우 다수의 시스템이 계통에 연계될 것에 대비하여 고조파 발생에 의해 계통의 전력 품질을 악화시키지 않거나 개선 시킬 수 있는 기능의 보완이 필요하다.

한편 ②의 문제는 태양광발전시스템을 갖는 수용가를 배전 계통에 연결할 때 종래 볼 수 없는 이질적인 부하(역조류 전원)가 되기 때문에 배전계통의 전력조류가 전원으로부터 부하로 흐르는 일방성의 형태가 아니라 전원과 부하가 혼재되어 있는 형태가 된다. 이에 따라 전력계통의 보호협조 및 인버터의 단독운전 가능성에 대한 검토가 필요하다.

이러한 계통연계 태양광발전시스템의 연계시 문제점에 대해 현재 상태에서 생각할 수 있는 대책으로서는

- ① 격심한 출력변동의 영향을 피하기 위하여 최저한도의 축전지(발전 능력의 30分~3日 정도의 저장능력) 또는 큰 용량의 커패시터를 설치하여 출력의 안정화 또는 수요시간대로의 전력이동을 꾀한다.
- ② 계통전압의 변동과 고조파 전압의 증대를 억제하기 위하여 인버터에는 자력식을 채용하고, PWM화, 고주파 스위칭(switching)방식을 추진한다.
- ③ 계통사고시에 있어서 배전선 보호 시스템과의 보호 협조 및 선로 작업시의 안정성을 확보하기 위하여 제어전원을 계통으로부터 취하는 자력식 인버터를 채용한다.
- ④ 계통사고시의 이상상태 및 선로 작업으로 인한 계통전압의 상실을 정확히 검출하기 위하여 계통의 전압, 주파수를 검출하는 기능 이외에 단독운전(Islanding 현상)을 검출할 수 있는 수동적 또는 능동적 검출방법을 사용한다.

이상의 기본조건을 갖는데 필요한 개인주택용을 비롯한 계통연계형 PV 인버터의 필요기능은 아래와 같다.

- ① 태양전지를 포함한 직류 측 회로의 보호
- ② 일사량에 따른 태양전지 출력의 최대화
- ③ 일출·일몰시의 자동기동·정지
- ④ 고역률 제어(95%이상)
- ⑤ 전력 품질의 유지(교류 출력, 파형 왜곡의 저감 등)

⑥ 교류 측 회로의 보호 협조, 역충전 방지 보호

이것들은 수동부하인 종래의 가전제품에는 없는 기능이고, 이 같은 기능을 갖는 인버터를 구미에서는 PC(Power Conditioner) 또는 PCS(Power Conditioning System)이라 부른다.

특히, 역조류 운전을 행하는 태양광발전시스템은 하나의 발전소로 간주되고, 상기의 ⑤, ⑥은 계통으로의 영향, 보안에 관한 특성으로 신뢰성, 안전성의 면에서 충분한 배려가 필요하다. 예를 들면, 배전선 측이 정전한 경우 가끔 태양광발전시스템의 발전출력과 부하가 균형을 이루어도, 정전을 감지하여 태양광 인버터의 운전을 정지하여 배전선이 활전상태(역압 또는 역충전)가 되는 것을 방지하는 기능을 부가하여야 한다.

이상으로 본 장에서는 계통연계 태양광 발전의 원리 및 시스템 구성 방법 등을 기술하였고, 향후 실용화 보급을 위한 계통연계 태양광발전용 직·교류 전력변환기술의 개발동향 및 기술적 요구조건 등을 검토하였다.

대체에너지기술 가운데 가장 실용화에 근접해 있는 태양광 발전기술은 깨끗한 신발전방식으로 현재 국내에서는 도서지역 전원으로서 독립형(Stand-alone type) 태양광발전시스템 보급을 시작으로 이미 태양광발전시스템의 효과적 운전을 도모하기 위해 기존 전력 계통과 연계를 하는 계통연계형(Grid connected type) 태양광발전시스템을 이용한 중소규모 분산시스템이 시범 보급사업 등에 의해 실용화되고 있다.

계통연계 시스템은 인버터, 연계장치, 제어장치 등의 시스템 기술의 발전과 더불어 상용전원과의 연결이라는 점에서, PLL(Phase Locked Loop)제어를 통한 위상제어와 PWM 기법에 의해 상용전원의 주파수와 동기화 시키는 물론 제어 지령과 거의 오차가 없는 근사 정현파를 출력해야 하는 등 독립형 인버터와는 다른 제어특성이 요구된다.

특히 최근 고조파 발생 부하의 사용증가로 인한 계통의 전력품질 문제가 대두되고 있는 상황에서 시스템 출력에 포함되어 있는 고조파의 계통 유입을 억제할 수 있는 대책이 필요한 실정이다. ■

참 고 문 헌

[1] 산업자원부, "태양광에너지 개발·보급 활성화 전략", Solar Land 2010 Program, 2002.

[2] IEA, "Trends in photovoltaic application in selected IEA countries between 1992 and 2001", Report IEA-PVPS T!-11, 2002.

[3] Dong-Geun LEE, "Strategic plan for photovoltaic technologies in korea", 12th international photovoltaic science and engineering conference, pp 1-4, 2001.

[4] K.S.Ahn, H.C.Lim and I.H.Hwang, "Evaluation of long term operation of 50kW class grid-connected photovoltaic power generation system", 12th international photovoltaic science and engineering conference, pp 749-752, 2001.

[5] 한전 전력연구원, "50kW급 계통연계형 태양광 발전 시스템 개발" TR.96TJ01.S1999.756, 1999.

[6] Matthew Burrech, "Photovoltaic Energy Systems", McGraw-Hill Book Company, 1993.

[7] 한전 기술연구원, "도서지역 태양광발전 실용화 적용연구", KRC-91G-J07, 1993.

[8] 황인호 외, "국내 도서전원용 태양광 발전설비 운전현황", 7회 신재생에너지 세미나, 1995.

[9] 분산형 전원계통연계 기술지침(JEAG-0701-1993), 일본전기협회.

〈 저 자 소 개 〉



임희천(林希天)

1956년 5월 15일 생. 1982년 성균관대학교 기계공학과 졸업. 1982년 한전 입사. 2000년 충남대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 전력연구원 책임연구원. 연료전지·대체에너지 개발팀장.



안교상(安敎相)

1964년 3월 20일 생. 1982년 한전 입사. 1994년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 전력연구원 선임보 연구원.