

선박용 태양광 하이브리드 발전시스템 개념 설계

A Study on the Design of Solar Hybrid Generating System for a Ship

최한규^{*†}, 김희제^{**}, 이경준^{***}

Han-Kyu Choi^{*†}, Hee-Je Kim^{**}, Kyung-Jun Lee^{***}

요 약 문

국제적으로 해운분야 등 온실가스 배출량 규제를 강화하고 있으며, 정부에서도 '저탄소 녹색 성장'을 위한 신재생 에너지 비율을 확대 추진함에 따라 육상 녹색성장을 위한 시도는 활발히 이루어지고 있으나, 친환경 에너지를 선박에 이용한 노력은 부족한 실정이다.

또한 현재까지 연구된 태양광 시스템의 경우 기존 선박의 동력을 대체하여 추진용으로 사용하기에는 실용성이 없으므로, 기존 선박 발전시스템을 연계한 태양광 하이브리드 발전시스템의 연구개발이 필요하며, 따라서 태양광을 선박용 에너지로 활용하기 위한 선박용 하이브리드 발전 시스템 개념 설계 및 설치 기준에 대하여 고찰하고자 한다.

※ **핵심용어** : 태양전지(Photovoltaic Cell), Hybrid, 모듈(Module), 다결정(Multicrystal), 단결정(Monocrystal), 비정질(Amorphous)

1. 서 론

태양광 발전시스템은 태양전지의 발명을 토대로 시작되어, 1954년 태양전지의 기본구조가 미국의

벨연구소 소속의 3명의 연구자에 의해서 발명되었고 그로부터 대략 55년이 경과했다. 하지만, 본격적으로 세계에서 검토되기 시작한 것은 1974년 석유수출국의 결속이 강화되면서 제1차 오일쇼크로

* 선박안전기술공단 기술연구팀

** 부산대학교 전기공학과 교수

*** 부산대학교 전기공학과 박사과정

† 논문주저자

석유수입국들의 저성장과 고물가 등 경제적으로 큰 피해를 받은 후였다. 이란의 석유수출 중단으로 인한 1979년 제2차 오일쇼크가 발생하고 최근 화석 에너지로 인한 에너지 고갈 문제 및 지구온난화로 인한 교토협약이 발효되었으며, 전 세계적으로 유가가 급등하였다. 그로 인해 편재된 화석 에너지와 같이 패권을 다룰 필요도 없고 세계의 모든 나라가 자국의 에너지로 이용할 수 있는 태양광, 풍력, 수력, 지열, 조력 및 연료전지 등의 신재생 에너지 분야의 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다. 최근의 기후변화협약에 따른 실질적인 저감효과를 기대할 수 있는 온실 가스 배출규제의 대처방안으로, 해당 정부의 정책적 지원 하에 선진국을 중심으로 한 태양광 및 풍력 발전시스템의 보급이 해마다 가속화 되고 있다. 또한 시스템의 저가화 및 고효율화 등의 이용 기술연구와 보급 확대를 위한 표준화 연구도 진행 되고 있다. 그 중에서 태양광 발전시스템은 태양광 주택 10만호 보급 사업, 태양광 발전소 및 하이브리드 전기자동차 등 육상에서의 사용 분야는 다양하다.(1~2)



Fig. 1 태양전지의 다양한 적용 분야

그러나 현재까지 연구된 태양광 시스템의 경우 기존 선박에 적용이 어렵고 또한 추진용으로 사용

하기에는 실용성이 없다고 할 수 있다. 따라서 선박의 기존 발전 시스템을 이용하면서 태양광 에너지를 사용한 하이브리드 발전시스템의 연구 개발이 필요하다. 태양전지의 대규모 소비처가 될 수 있는 선박 산업에서 시장 선점 효과와 발전기에 사용되는 화석 연료 에너지의 절감을 통해서 경제적 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 배출가스 감축으로 인한 환경보호로 정부의 저탄소 녹색 정책에 기여할 것으로 판단되며, 또한 태양광을 선박용 에너지로 활용하기 위한 선박용 하이브리드 발전 시스템관련 개념 설계 및 설치 기준을 제시하여 선박에서의 태양광 하이브리드 시스템 설치 및 보급에 도움이 되고자 한다.

2. 태양광 발전 시스템

2.1 태양전지의 기본 원리

태양전지는 반도체 재료가 빛을 흡수할 때 생성되는 전자(음전하 반송자) 및 정공(양전하 반송자) 쌍을 전기적으로 분리시킬 수 있는 PN접합 또는 Schottky 접합과 분리된 전기(전자 및 정공)를 포집하는 전극으로 구성된 독립적인 발전소자이다.

Fig. 2는 PN접합 태양전지에 빛이 흡수되는 과정을 도식화 한 것이다. 태양으로부터 방사되는 빛이 반도체 재료에 입사되면 재료 내에서 전자들이 그 에너지를 받아 들뜬 상태로 되며 빛의 입사 에너지가 충분히 커서 반도체 재료의 에너지금지 대폭(전자와 정공의 전기적 위치에너지 차이)이상 일 때에는 전자의 들뜬 상태도 커져서 처음상태 보다 더 높은 위치에너지 준위로 올라가면서 처음 있는 자리가 비워져 정공이 만들어진다. 이렇게

생성된 전자 및 정공쌍들은 접합부의 전기장(정공에 의하여 전류가 흐르는 P형 반도체와 전자에 의하여 전류가 흐르는 N형 반도체를 접합하면 그 부분에서 전자와 정공의 확산전류가 흘러)이 발생한다. 정공은 양극쪽으로 분리되어 양쪽 단자에서 수집되며 적절한 전력조정장치와 축전장치 등을 통하여 그 전기를 이용하게 된다.

태양전지의 작동능률을 나타내는 기본적인 변수는 효율이며, 이것은 태양전지에 입사된 태양광 에너지에 대하여 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지의 비율로써 결정된다. 따라서 효율이 15%라고 하면 태양광 입사에너지의 15%를 전기 에너지로 변환시킬 수 있다는 의미가 된다.

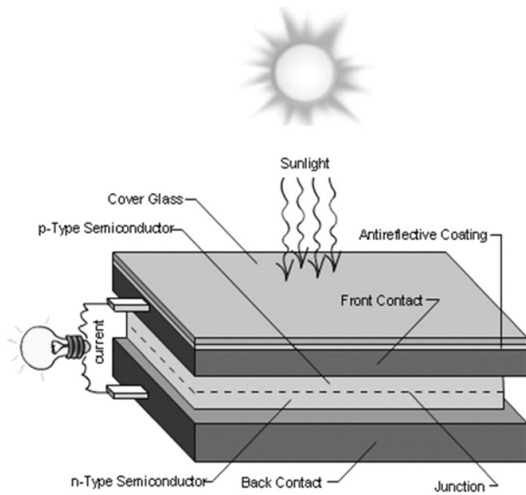


Fig. 2 태양전지의 특성

이와 같은 동작원리를 이용하여 태양전지는 제조 회사에 의해 모듈로 생산된다. 생산되는 태양전지는 표준시험 조건(Standard Test Conditions, STC)에서 얻어지는 모듈의 출력(W_p , Watt peak) 값은 제조회사에서 제공하며, Fig. 3과 같은 특성에 따라

태양광 발전시스템이 최대전력점(Maximum Power Point Tracking, MPPT)을 추종하여 전력을 생산할 수 있도록 한다. 태양전지의 표준시험은 $1000W/m^2$ 의 태양광 세기와 $25^\circ C$ 온도의 조건에서 이뤄진다.

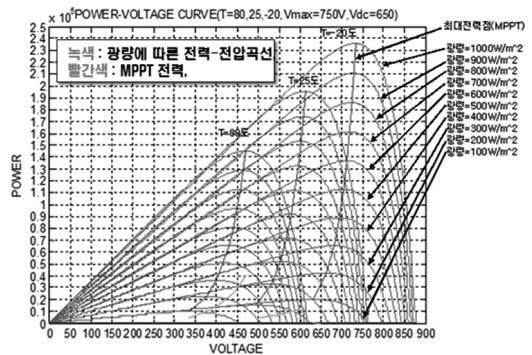


Fig. 3 태양전지 특성 곡선

그러나 대부분의 실제 상황에서는 태양광의 세기가 $1000W/m^2$ 보다 약한 200에서 $500W/m^2$ 의 세기이며 셀의 온도는 $40\sim 60^\circ C$ 정도이고 조사광의 각도가 모듈에 수직이 되지 못한다. 또한 때때로 모듈의 일부분이 나무나 건물 또는 표면에 쌓인 이물질(새들의 분비물)등에 의해 그림자가 지워지는 경우가 많다.

2.2 태양전지의 등가회로 및 특성

태양전지의 이상적인 등가회로는 다이오드와 전류원이 병렬로 연결되어진 구조이다. 전류원은 태양광의 Irradiation E 에 직접 비례하는 광전류 I_{ph} 를 발생시킨다. 비조사(non-irradiated) 상태의 접합이 전압 V 로 바이어스 되면 소수 운반자의 전류는 포화전류 I_s 이고, 다수 운반자 전류는 지수

함수적으로 증가하는 $I_{Maj} = I_s \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)$ 가 되며, 결과적으로 전류밀도는

$$i = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

이 된다.

이때 q 는 전자의 전하, k 는 볼츠만상수, T 는 절대온도이다.

접합면이 빛에 조사되면, 광전류 I_{ph} 가 생겨 전류밀도는

$$i = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - I_{ph} \quad (2)$$

가 된다.

빛을 받는 바이어스 접합에서의 전류밀도 식은 (2)이고, 이때의 전지를 전류발생원으로 볼 수 있다. 이때 발생하는 전류는 $i = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$ 이다. 따라서 이상적인 태양전지의 등가회로를 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있고, 그 형태는 전류 발생원과 이상적 다이오드가 병렬로 구성되어 있는 형태로 나타낼 수 있다.

접합(junction)이 부하저항(load resistance) R_L 과 연결되어 있을 때, 전압은 R_L 을 통한 오옴성 전류 강하의 결과이다.(개방회로에서 $R_L \rightarrow \infty$ 이고, $V \rightarrow V_{oc}$)

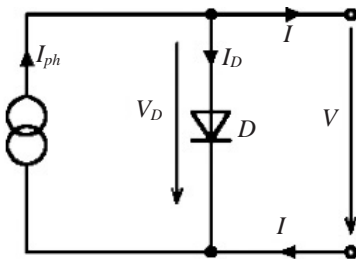


Fig. 4 태양전지의 등가회로

I_{ph} 가 R_L 쪽으로 향하는 접합면을 가로질러 순방향 바이어스 V 를 가져와서 전류 i 는 I_{ph} 와 반대방향의 순방향 전류가 된다. R_L 에서의 광전류 방향은 접합면을 가로지르는 전압을 유도하여 I_{ph} 와 반대 방향의 순방향 전류 i 를 만드는 것으로 생각해도 되겠다. 어쨌든 외부 회로에서 전체 광전류는 관찰되지 않으며, $I = I_{ph} - i$ 가 된다.

2.3 태양광 기술의 분류

- (1) 태양광 기술은 크게 태양전지 및 모듈 기술과 시스템 및 주변장치 기술로 구성되며, 태양전지 기술에는 태양전지 소재 및 소자와 모듈 제조기술이 포함된다. 태양전지 모듈은 벌크형 실리콘계와 박막 및 유·무기 화합물계 태양전지를 소재로 한 것으로 모듈제조에 사용되는 소재와 제조장비, 그리고 제조기술에는 고효율화, 고수율화, 저가화, 재활용 및 폐기 처리 등의 기술 등을 포함한다.
- (2) 태양전지는 실리콘과 CIS계, CdTe 등의 화합물 반도체, 기타 유·무기 화합물을 소재로 한 것으로, 그 형태는 웨이퍼, 박막 등을 포함한다. 결정질실리콘 태양전지 제조 기술에는 실리콘 웨이퍼 기관 박막형화 및 기관 고품위화 기술, 태양전지 저가화(양산 공정), 그리고 태양전지 고효율화를 위한 접합 형성, 전면 passivation, 후면 BSF 제조, 반사방지막 제조 등의 기술이 포함된다.
- (3) 박막 태양전지 및 모듈기술에는 물리·화학적 공정을 중심으로 한 단위박막 요소기술, 태양전지 설계 및 구조 최적화, 소자 고효율화 기술(다중접합, 복합구조)과, 대면적 모듈제조에

필요한 대형 박막 제조장치, 패터닝 및 패키징, 고수율 및 공정 저가화 기술 등이 포함된다.

(4) 시스템 및 주변장치 기술에는 BIPV(Building Integrated Photovoltaics) 모듈, PCS, 저가화 다기능화, 고성능화, 수명예측, 재생, 재활용, 신뢰성 및 안정성, 설계시공, 성능 진단, 계통연계 기술, 유지점검, 전력공급 안정화 및 전력저장기술 그리고 시스템 성능 평가와 표준화 기술이 포함된다.

(5) 태양전지와 모듈의 전기·광학·화학·기계적 특성 측정 평가와 시스템의 전주기 신뢰성, 성능 및 환경시험평가 기술개발도 그 범주에 포함된다.

2.4 태양전지의 종류

현재 실용화되어 전원용으로 이용되고 있는 것은 주로 실리콘(Si) 태양전지이다. 실리콘 태양전지는 이미 반도체 분야에서 많이 연구 개발이 되어 있고 또 그동안 누적 보급면에서 월등하므로 기술의 신뢰성이 높다. 사용목적에 따라 다른 종류의 반도체를 이용한 태양전지도 실용화 단계에 있으며, 특수한 소재 및 구조를 가지는 태양전지에 대한 연구도 진행중이다.

특히 선박용 태양전지의 경우 가벼우면서도 Flexible하고 효율이 높은 특성이 요구되지만 아직은 실리콘 태양전지를 대체할 수준은 아니다.

현재 결정질 실리콘 태양전지가 전체 태양전지 시장의 95%를 차지하고 있으며, 저가 및 고 효율화를 목표로 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 결정질 실리콘 태양전지의 연구와 더불어 박막형 태양전지(박막형 Thin film-type)에 대한

연구도 활발히 진행되고 있으며, 2010년에 박막 태양전지가 전체 태양전지 시장의 25%를 점유할 것으로 예상되고 있다.(3~4)



Fig. 5 태양전지의 분류

Fig. 5는 태양전지의 물성에 따른 분류이다.

2.4.1 결정질 실리콘 전지

결정질 실리콘은 물리적 특성 면에서 태양전지를 위한 가장 이상적인 물질은 아니지만 전자산업에서 이미 개발된 기술 및 장비를 동일하게 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 실험실 수준의 효율은 20% 이상을 나타내고 있으며, 양산용 셀의 효율은 평균적으로 15~17%를 보이고 있다. 실리콘 태양전지의 이론적 최대효율은 약 29% 정도이며 이미 실험실 수준에서는 이 한계치에 가까운 효율이 보고된 바 있다.

2.4.2 박막 태양전지

박막 태양전지는 유리, 스테인리스 또는 플라스틱과 같은 저가의 기판에 감광성 물질을 마이크로 두께의 얇은 막을 씌워 만들어진다. 재료에 의존적인 결정질 실리콘 전지에 비해 생산 단가가 낮고, 자동화를 통해 모듈 공정까지 일관화시킬 수 있다는

장점을 가지고 있지만 대체로 낮은 효율과 모듈의 수명에 관한 실증 연구가 부족하다는 단점을 가지고 있다. 비결정질 실리콘(a-Si; amorphous silicon), CIS(copper indium diselenide) 또는 CIGS(copper indium-gallium diselenide), 그리고 CdTe(cadmium telluride)의 세 가지 종류의 박막 모듈이 현재 상업화 되어 있다. 세계 수준의 셀 효율은 현재 18.4%(CIGS의 경우)에 도달하고 있으며 현재 상업화된 모듈은 약 10% 수준의 안정화 효율을 보이고 있다. 이러한 효율 수준은 2015년에는 12%에 도달할 것으로 예상된다.

2.4.3 유기 태양전지

유기 태양전지는 크게 염료감응형 태양전지와 유기분자형 태양전지로 나뉜다. 이중 염료감응 태양전지는 염료를 최대한 흡착할 수 있는 나노 구조 TiO_2 필름, 광전자의 재생을 도와주는 산화-환원 요오드계 산화-환원 전해질, 그리고 요오드 환원의 촉매 역할을 하는 백금 또는 탄소전극으로 구성되어 있다. 염료감응 태양전지는 소면적(1cm^2 이하) 단위 셀에서 11% 효율이 가능하며, 유기 태양전지와 마찬가지로 소재와 제조공정에서 기존 무기물 태양전지(실리콘 및 화합물반도체)에 비해 값싼 특징을 가지고 있다. 또한, 다양한 색상의 염료가 가능하여 컬러 태양전지 구현이 가능하고, 나노입자의 장파장 투과 특성에 의한 투명 태양전지 구현이 가능한 장점을 가지고 있는 반면, 대면적화에 대한 연구가 부족하고 대체로 낮은 효율과 수명에 대한 실증연구가 부족한 단점을 가지고 있다.

유기분자형 태양전지는 전자를 받을 수 있는 유기 물질(예로써 PCBM)과 정공(홀)을 받을 수 있는

유기물질(예로써 P3HT)이 적층 또는 블렌딩 형태로 구성된 태양전지로서 약 3%에서 많게는 6% 수준 까지 변환효율이 가능한 기술이며, 최근 유기 태양전지를 적층하여 셀단위에서 6.5%의 효율이 보고 되었다. 유기분자 태양전지는 광전자를 발생하는 활성층이 매우 얇기 때문에 플라스틱 기판 등에 적용하여 플렉시블 형태가 용이한 기술이다.

2.4.4 집광형 태양전지(Concentrator Cell)

집광형 태양전지는 프렌넬(Fresnel) 렌즈 또는 Mirror 등과 같은 집광기를 사용하여 넓은 면적의 빛을 수 mm^2 ~수 cm^2 크기의 태양전지에 집중시켜 태양전지 시스템 가격을 낮추는 방식이다. 대개 400~1,250배 정도로 집광하는 시스템이 사용된다. 집광형 시스템에 장착되는 태양전지는 기존 인공 위성용 태양전지로 사용되고 있는 III-V 화합물 반도체 다중접합을 이용한 초고효율(30~40%) 태양전지가 주로 사용되고 있다.

III-V 화합물 반도체 다중접합 태양전지는 모든 태양전지 가운데 가장 높은 효율을 기록하고 있으며 2007년 현재 최대 효율이 40.7%를 기록하고 있다.

3. 태양광 발전시스템 기본 설계

3.1 설계 계획

국내의 태양광 발전 사업은 아직 초기 투자비용이 높은 이유로 대부분 국가 정책에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 따라서 설계에 있어서도 국가 정책에 따라 그 계획이 달라질 수 있다. 2009년 이전까지 국내의 소규모 태양광 발전시스템은 국가의 “태양광

주택 10만호 보급사업”의 일환으로 진행되어 왔지만, 2009년 태양광, 태양열, 바이오, 소형풍력 및 지열 등의 신재생에너지가 하나의 사업으로 묶인 “그린홈 100만호 보급사업”이 시행되었다. 하이브리드 자동차의 개발, 다양한 신재생에너지 활용에 대한 연구 등 화석 연료를 줄이기 위한 전 세계적 공감대가 형성된 현재, 선박 분야에서도 이러한 노력이 필요한 시점이다. 또한, 교토의정서 2차 공약의 발효와 국제해사기구(IMO)의 규정에 따른 이산화탄소 배출 상한선을 만족시키기 위해 선박에서 사용되는 화석연료의 사용량을 감소시킬 수 있는 방안으로 하이브리드 태양광 발전시스템을 구성하여 연료 절감 등 선박용 그린 에너지 실용화가 시급하다.

3.2 용도 · 부하의 선정

소용량의 태양광 발전시스템은 주로 사용처의 자체부하로 사용되어 계통연계형 태양광 시스템으로 이용되고 있으나, 선박용은 독립형 태양광 시스템을 구성하여 디젤 엔진과 함께 하이브리드 구성을 하도록 한다. 선박 전기 시스템 조사 결과와 같이 조타실의 각종 항해, GPS 장비등의 DC 부하 및 하절기 에어컨과 같은 AC 부하로 선정한다. 태양전지는 표준상태(25℃ 1000W/m²)를 기준으로 1℃ 온도 상승시 약 0.5%의 출력이 감소하는 특성을 갖고 있다. 실제 태양전지는 일사량 및 온도가 표준상태를 벗어나기 때문에 태양전지 용량의 약 0.8배 이상의 전력 변환 장치를 채택하여 주는 것이 시스템의 경비 절감 측면에서 유리하지만 사실상 설치 용량 이하의 전력 변환 장치는 안전 검사나 사용 전 검사에서 지적사항으로 나오는

경우가 많아 대부분 설치용량 이상의 인버터를 사용하는 경우가 많다.

3.3 시스템 형식 및 구성의 기기 선정

시스템의 어레이 구성을 위해서는 시스템의 형식과 구성기기의 선정이 선행되어야 한다. 소용량 시스템의 경우 오지와 같이 한전계통이 들어오지 않는 곳을 제외하면 대부분 건물의 자체 부하를 담당하는 방식의 계통연계형 시스템으로 구성된다. 계통연계형 시스템은 Fig. 6과 같이 크게 빛에너지를 전기에너지로 변환시키는 태양전지와 직류(DC) 전기를 교류(AC)로 바꾸는 인버터로 구성되어 있다.

한전의 전력이 공급되지 않는 오지에 설치할 경우에는 독립형 시스템의 설치가 필요하다. 선박의 경우도 항구에 정박해 있을 때는 계통으로부터 전원 공급을 받을 수 있지만, 항해 중일 때는 계통 전원의 공급을 받을 수 없으므로 독립형 시스템이 적합하다.

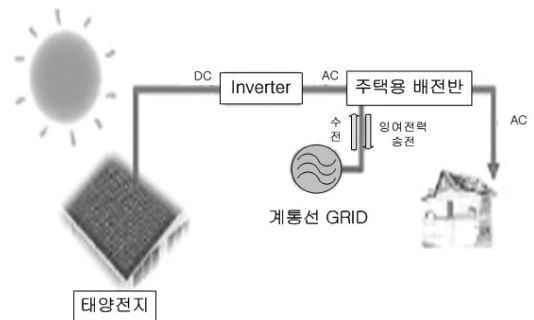


Fig. 6 계통 연계형 태양광 발전시스템

독립형 시스템은 Fig. 7과 같이 구성되며, 계통 연계형 구성기기에 추가적으로 낮에 생산된 전기를

밤에 사용할 수 있도록 전기를 저장하는 축전기, 장마철이나 태풍 등의 영향으로 비교적 장기간 태양전지가 작동할 수 없는 경우를 대비하는 보조 발전기, 태양전지와 모듈이 주어진 조건에서 최대의 전력을 낼 수 있도록 해주는 전력 조절장치로 구성 되어 있다.

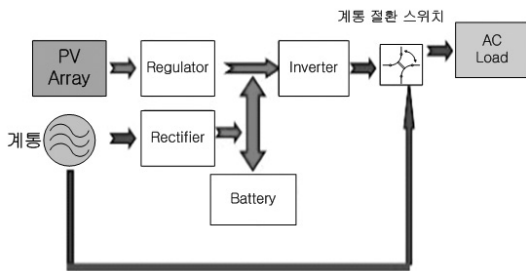


Fig. 7 계통 절환형 독립형 시스템

태양광 발전시스템의 설계를 위해서는 설치할 곳의 여건에 맞게 먼저 계통연계형 시스템인지 독립형 시스템인지를 결정한 후 이에 맞게 구성기기를 선정해야 한다.

운항중인 선박의 경우에는 Fig. 8과 같이 태양 전지가 발전을 할 수 없을 때, 보조 발전기가 계통을 대신하여 선박에 전력을 공급하도록 하게 된다. 계통 절환 스위치 대신에 선박용 하이브리드 발전 시스템에서는 태양전지의 출력과 발전기의 출력을 인터락(Interlock) 스위치를 사용하거나, MCU (Micro Controller Unit)에 발전 시퀀스 또는 알고리즘을 탑재하여 제어할 수도 있다.

그리하여 맑은 날에는 태양전지에서 발생하는 전력을 우선적으로 선박 전원으로 사용하며, 날씨 변화에 따라 자동 또는 수동으로 조작하여 전원을 선택적으로 사용할 수 있도록 한다.

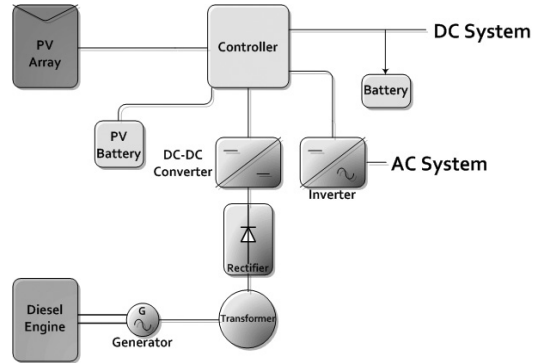


Fig. 8 선박용 하이브리드 발전 시스템-A

각종 선박이 내뿜는 이산화탄소(CO₂)는 전 세계에서 배출되는 이산화탄소 양의 3~4%를 차지한다. 선박이 차지하는 화물 수송 비중을 감안하면 다른 수송 수단보다 크다고는 할 수 없지만, 절대량에서는 항공기 등을 훨씬 앞선다. 이와 같이 하이브리드 발전시스템을 선박에 도입할 경우 질소산화물(NOx) 및 황산화물(SOx)과 같은 대기 오염 물질의 배출 감소뿐만 아니라 연료 절감 효과를 기대할 수 있다.

하이브리드 선박은 신재생 에너지원으로 태양 전지 이외에도 Fig. 9와 같이 풍력 발전기를 통합한 시스템 개념 설계가 가능하다.

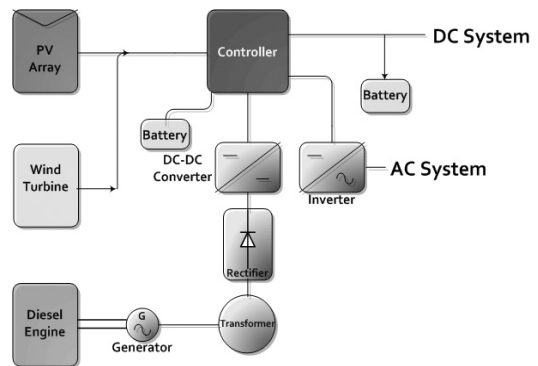


Fig. 9 선박용 하이브리드 발전 시스템-B

풍력 발전기가 태양전지와 함께 구성이 될 경우에는 태양 전지가 발전할 수 없는 흐린 날이나 밤에도 풍력 발전기로부터 전력을 생산해 낼 수 있으므로, 좀 더 독립적인 시스템이 될 수 있다. 하지만 풍력 발전기의 경우 기존 선박에 설치하기가 용이하지 않으며, 풍력 발전기의 블레이드 파손 등에 의한 사고가 발생할 경우 승객의 안전성을 보장할 수 없는 단점이 있다.

3.4 설치장소 · 설치방식의 선정

소용량 태양광 발전시스템의 경우 대부분의 설치 장소는 여건에 따라 한정되어 있다. 주택 같은 경우 대부분 건물의 옥상 등에 전기 사용량에 준하여 알맞은 설비 용량을 택하여 설치하며, 주택공사에서 주관하는 국민임대아파트 등과 같은 경우 지붕이나 옥상 등에 설치하는데 각각의 설치 가능한 면적을 산출하여 이에 맞게 계획한다. Fig. 10과 같이 유람선 등 선박에 태양광 모듈을 설치할 경우에 상부구조물 상부 등의 설치 공간에 알맞은 태양 전지를 선정하여야 하며, 해상 위에서의 음영에 의한 영향 또한 옥상에 비해서 적게 받는다.



Fig. 10 유선 전경 모습

설치 장소가 선정되면 다음으로는 설치 방식을 결정해야 한다. 설치 방향은 정남향에 가깝도록 하고, 설치 경사각은 실험을 통하여 선정하여 효율이 최대가 될 수 있도록 한다.

에너지 밀도가 낮은 태양에너지를 최상의 효율로 이용하기 위하여 태양광 발전시스템 설치의 최적 조건을 충족시키는 것이 경제적으로도 바람직하다. 태양전지 모듈의 출력특성을 살펴보면 Fig. 3과 같이 일사량에 비례해서 출력이 변하게 된다. 최대 전력생산에 있어서 가장 중요한 요소인 일사량은 위도에 따라 변화하며, PV시스템의 설치 위치 즉, 방위각과 경사각에 의해 결정되어야 하며 이는 지역별 특성에 따라 다소 다르다.

우리나라는 일반적으로 최대의 일사 획득이 가능한 방위는 정남향이고, 시스템이 정서 또는 정동향으로 설치되는 경우 보통 정남향으로 설치했을 때의 60% 정도의 일사량만을 획득하는 것으로 나타났다. 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정되는데 우리나라는 일반적으로 수평면으로부터 경사각이 30~35°가 적절하다고 보고되고 있다.(5~7) 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다 수직 외벽면에 설치된다면 보다 많은 획득량을 기대할 수 있다. Fig. 11 은 경사각에 따른 PV모듈 표면에 입사되는 일사량 획득 면적을 보여주고 있다.

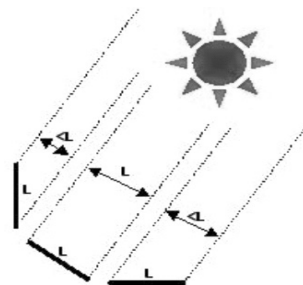


Fig. 11 경사각에 따른 일사량 획득 면적

태양광 어레이의 경우 태양광 발전시스템 형식은 크게 고정식, 추적식 및 반고정식으로 분류할 수 있다. 추적식은 고정식에 비해 약 20~30% 정도 높은 발전 효율을 보이지만 설치 비용적인 측면에서 고정식에 비해 단가가 높으므로 사전에 발전량과 설치비용에 대한 검토 후 손익분기점을 계산하여 결정하여야 한다. 특히, 선박의 경우 추적식을 사용할 경우 태양광 최대 추적시 풍압에 의한 영향을 많이 받아 안정성에 문제가 될 우려가 있으며, 태양광 어레이 형식은 다음과 같다.

3.4.1 고정식 어레이(fixed array)

고정식 태양광 발전시스템은 설치 경사각을 연평균 가장 발전 효율이 높은 각으로 고정하여 설치하는 형태이다. 가장 값싸고 안정된 구조로써 비교적 원격지역에 설치면적의 제약이 없는 곳에 많이 이용되고 있다. 특히 도서지역 등 풍속이 강한 곳에 설치하는 것이 보통이다. 추적형 및 반고정형에 비하여 발전효율은 낮은 반면에 초기 설치비가 적게 들고 보수 관리에 따른 위험이 없어서 상대적으로 많이 이용되는 어레이 지지방법이다. 국내의 도서용 태양광시스템에서는 이와 같은 고정형 시스템을 표준으로 한다. Fig. 12는 고정형 태양광 어레이 설치 예를 나타낸 것이다.

약 10여 년 전 태양광 발전 시스템은 소규모 가정용 보급 사업으로 많이 활용되었으나 최근 대규모 MW급 이상의 발전설비가 지속적으로 추진되고 있어 국내에서도 약 10여건의 MW급 발전소가 계획되고 있다.

선박의 경우 육상의 태양광 발전시스템과 달리 선박은 고정된 위치에 정박해 있는 경우 보다는 운항을 할 때, 전력을 소모하는 경우 이므로 고정형

시스템 태양전지의 설치 형태 및 최적 각도를 고려해야 한다.



Fig. 12 고정식 어레이 설치 모습

3.4.2 추적식 어레이(tracking array)

태양광발전시스템의 발전효율을 극대화하기 위한 방식으로 태양의 직사광선이 항상 태양전지판의 전면에서 수직으로 입사할 수 있도록 동력 또는 기구조작을 통하여 태양의 위치를 추적해 가는 방식을 말하며, 추적식 어레이 설치 형태는 Fig. 13과 같다.

추적형 태양전지는 추적시스템의 종류에 따라 태양자오선 정보에 의한 위치정보 프로그래밍 시스템과 광센서 자동추적 시스템으로 구분되어 상업화 되고 있다.

태양자오선 정보에 의한 위치 정보 프로그래밍 시스템은 시스템이 간단하고 고장요인이 없는 장점이 있는 반면 최대 태양광발전 효율보다는 조금 낮은 효율을 보인다는 단점이 있다.

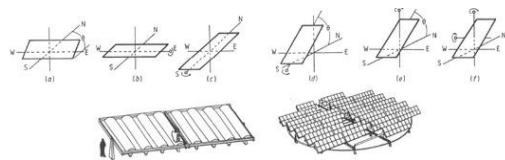


Fig. 13 추적형 어레이 설치 형태

광센서 자동추적 시스템은 두개 이상의 광센서를 부착한 후 두개의 광센서로 들어오는 빛의 양이

동일한 지점을 추적하는 방식으로 항상 최대에너지 효율을 보장할 수 있다는 장점이 있는 반면 구름이 지나가면서 태양광의 굴절을 일으켜 펄핑 현상을 유발한다는 단점이 있다.

3.4.3 반고정식 어레이(semi-fixed array)

반고정형 어레이는 태양전지 어레이 경사각을 계절 또는 월별에 따라서 상하 또는 좌우로 위치를 변화시켜주는 어레이 지지방식으로, 일반적으로 사계절에 한번씩 어레이 경사각을 변화시킨다. 이때 어레이 경사각은 설치 지역의 위도에 따라서 최대 경사면 일사량을 갖도록 설치한다. 반고정형 어레이의 발전량은 고정형과 추적형의 중간 정도로서 고정형에 비교하여 보통 20% 가량의 발전량 증가를 가져온다.

3.5 주변장치의 선정 및 구성기기 안전 기준

구조물과 어레이 설계 후 접속반이나 계량기 등의 주변장치의 선정과 이 주변장치와 구성기기의 설치 장소를 결정해야 한다. 독립형의 경우 충전기, 축전기 및 정류기 등의 다양한 구성기기가 필요하며 이에 따라 설치 공간의 확보와 기기간의 간선 배치가 더욱 중요하다. 그러나 소용량에서는 대부분 독립형이 사용되지 않는 경우가 많다. 주변장치와 구성기기의 설치 장소가 결정되면 이에 따른 전력 간선도를 작성한다.

전력 변환기 등의 설계 및 배치에서 있어서 다음과 같은 사항들을 유의해야 한다. 아래 유의 사항들은 육상뿐만 아니라 해상에서의 태양광 발전 시스템 설치에도 똑같이 적용되고 고려되어야 할 사항이라고 하겠다.

3.5.1 변환기기 외함

- 각 전력 변환기기 및 모든 부속 설비는 되도록 동일 Cubicle(이하 제어반이라 칭한다) 내에 수용되도록 설계, 제작되어야 한다.
- 향후 변환설비의 증설이나 변경을 고려하여 설계되어야 한다.
- 각 외함은 실내 수직 자립형으로 설계하여야 하며 전면과 후면은 도어식 개폐를 구비하여 내부의 보수 및 점검이 용이하고 방열, 통풍이 잘 되도록 한다.
- 외함 전면 또는 전면 내부에 각종 계기류, Switch류 및 조절장치들이 부착되어야 하며 전면 내부에 부착하는 경우 Door는 투명한 플라스틱 제품을 사용하여 외부에서 동작 상태를 용이하게 감시할 수 있어야 한다.
- 각 제어반 재질은 냉간 압연 강판제로 결함 및 흠이 없고 평활하게 제작하여야 한다.
- 계장, 계측기류 및 내부 배선 등의 하중에 의하여 변형되지 않도록 하여야 한다.
- 제어반 내부는 내부배선, 인입케이블, 전선, 단자대 및 기타장치를 지지하기 위한 브라켓트나 지지대를 구비하고 케이블 연결 작업이 용이하도록 충분한 공간을 확보한다.
- 제어반 하부에는 케이블 인입구를 구비하여 케이블이 인입될 수 있도록 한다.
- Base는 기초 철 구조물과 일치하게 하여야 한다.
- 판넬 문짝은 휘거나 움푹 들어가지 않도록 견고한 부재를 사용하고, 절곡부분은 충분한 각도로 절곡하고 손잡이 및 장금장치를 구비하여야 한다.
- Access Cover 고정 장치는 내식성으로 하여야

한다.

- 반면에 기기를 설치하기 위한 구멍 및 볼트 구멍은 그 기기 제작자가 추천하는 허용오차 범위를 넘지 않도록 하여야 한다.
- 도장은 녹, 기름 및 먼지 등을 완전히 제거한 후 방청도료후 표면을 미려하게 도장한다.
- 제회회로는 염해 방지를 위하여 출하전 시운전 완료후 특수 처리를 해야 한다.
- 통풍구는 루버형이나 스크린형으로 하여 곤충이나 이물질이 들어갈 수 없도록 한다.
- 냉각 Fan은 충분한 냉각 용량을 가져야 하며 실내 온도에 따라 자동으로 기동 정지되도록 해야 한다.

3.5.2 계측기

- 계기들은 후면에서 결선되도록 하며, 반사를 방지하기 위하여 산처리된 유리를 사용한 것으로 설치하여야 한다.
- 계기의 지침은 250도 회전하도록 하고 시각 차를 방지할 수 있는 구조로 하며, 영점 조정을 용이하게 하도록 하여야 한다.
- 계기를 계기용변압기에 연결할 때에는 접지 되지 않은 상의 계기용변압기 쪽에 Miniature Circuit Breaker 또는 Fuse를 설치하여야 한다.
- 계기의 스케일 범위는 정상운전시의 지침위치가 최고 스케일의 50~75% 위치에 오도록 하여야 한다.

3.5.3 접지

- 장비의 접지는 금속제 외함, 캐비넷 및 지지대 등을 접지 기준점과 연결하여 누전 등으로

흐르는 누설 전류가 땅으로 흐를 수 있도록 해야 한다.

- DC계통과 AC계통 접지는 분리해야 하며 차폐에 이용되는 설비도 반드시 장비의 접지선에 연결되도록 해야 한다.
- 차폐 케이블 접지를 할 때는 순환 전류 및 Noise 방지를 위해 폐회로가 형성되지 않도록 양단중 한쪽만 접지해야 한다.
- 모든 계측기, 계전기 및 스위치들은 유효하게 접지되어야 한다.

3.5.4 휴즈

- 휴즈 CLIP의 정격은 직류 220V, 자기재 혹은 비도전성과 대화성 몸체에 설치된 것으로 한다.
- 휴즈는 쉽게 교체할 수 있는 곳에 설치하여야 하며, 문짝 등에 설치하지 않도록 설계한다.

3.5.5 차단기

- 전기용품 안전관리법에 의한 안전 인증을 받은 것으로 KS 규격품이어야 하며 각 회로전압과 전류 용량에 적합한 용량이어야 하며 충분한 단락 차단용량과 순시 차단 특성을 가져야 한다.
- 차단기는 시스템 각 구성 기기 용도에 맞도록 필요한 보조접점, 경보접점, 원격 Trip Coil 및 부족 전압 Trip Coil을 구비해야 한다.
- 단자부는 상간절연 및 도전성 이물질에 의한 사고를 방지하기에 충분한 절연내력을 갖춘 절연 배리어를 구비해야 한다.
- 감전사고 방지를 위해 전원 및 부하측 단자 부에는 단자 커버를 구비해야 한다.

3.5.6 계기용 변류기(CT)

- 계기용 변류기는 관련규격에 맞는 제품을 사용한다.
- 계기용 변류기는 단락사고시 기계적 및 열적 충격에 견딜 수 있도록 제작한 것으로 사용한다.

3.5.7 계기용변압기(PT)

- 계기용변압기는 관련규격에 맞는 제품을 사용한다.
- 계기용변압기의 2차측은 휴즈로 보호되며 각 분기회로에도 휴즈를 설치하여야 한다.

4. 결론 및 제언

국제적으로 온실가스 배출량에 대한 규제가 강화되는 추세에 따라 이산화탄소배출 감소와 에너지 절약을 위한 친환경에너지의 사용은 이제 필수적인 사항이 되고 있다. 특히 육상에서는 태양광 발전시스템이 여러 분야에 보급 및 설치되어 운용되고 있으며 스마트 그리드와 연계되어 발전하고 있다.

그러나 해양 분야에서는 해상 풍력을 위주로 설치되어 고압 DC 배전 등의 연구가 진행되고 있으나, 풍력 발전기 경우 설치하기 좋은 장소에는 거의 설치가 완료되어서 추가 설치가 용이하지 않다. 이러한 점을 감안하여 해상과 육상을 연결하는 지점, 즉 선박 또는 항구쪽에 태양광 및 풍력을 설치하는 방안을 제시하고자 한다. 선박에 태양 전지나 풍력 발전기를 설치할 경우 추진(주기)을 대체할 수는 없으나 발전기를 대체하여 선박에 사용되는 각종 항해 장비, 오디오 시스템 등에

전원을 공급할 수 있는 보조 수단으로써의 기능이 가능할 것이다.

따라서 기존 선박과 신조선에 태양광을 선박 발전기를 연계하여 선내 추진 이외의 동력으로 활용할 수 있는 발전시스템은 맑은 날씨에 태양 전지에서 발생하는 전력을 우선적으로 선박 전원으로 사용하고, 날씨 변화에 따라 태양전지의 출력과 발전기의 출력을 인터락(Interlock) 스위치를 사용하거나, MCU(Micro Controller Unit)에 발전 시퀀스 또는 알고리즘으로 제어하는 시스템이 적합하다. 최대 전력 생산에 필요한 가장 중요요소인 설치 위치 즉, 방위각과 경사각에 의해 결정되므로 우리나라는 일반적으로 최대의 일사 획득이 가능한 방위는 정남향이고, 경사각은 30~35°가 적절하다고 보고되고 있으나, 효율이 최대가 되는 각도 및 방향에 대하여는 실험검증을 통하여 선정하여야 한다.

또한 고정식 태양광 어레이 지지 방식은 어레이 지지형태가 가장 값싸고 안정된 구조로써 특히 도서지역이나 동해안 및 남해안 등 풍속이 강한 곳에 사용하기가 좋은 방식이며, 추적식 및 반고정식에 비하여 발전효율은 낮은 반면에 초기 설치가 적게 들고, 보수 관리에 따른 위험이 없어 선박용에 적합하다.

그리고 Fig. 14와 같이 선박이 항해를 마치고 정박해 있을 경우에는 잉여 전력을 항구에 설치되어 있는 계통 연계 인버터에 접속하여 육상 스마트 그리드에 전력을 공급할 수도 있다.

더 나아가서 항구의 잉여 공간에 태양광 또는 풍력을 설치하여 정박 중인 선박에 전원을 공급하기도 하는 양방향 전력 시스템이 가능할 것이다.

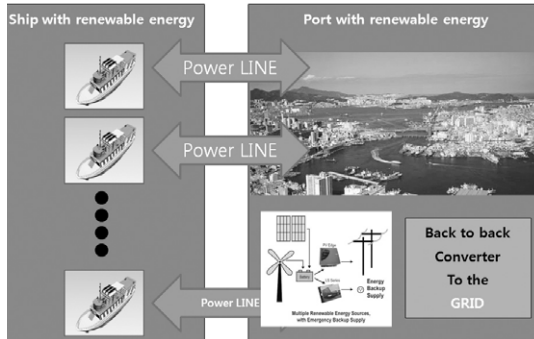


Fig. 14 미래의 지능형 태양광 선박 시스템

참고문헌

- (1) 유권중 외(2007) : 2006년 세계태양광발전 산업 현황, 대한전기학회하계학술대회
- (2) IEA PVPS(2007) : Trends in photovoltaic applications ; Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2006, Report IEA-PVPS T1-16
- (3) 이현화 외 : 저탄소 녹색성장을 위한 태양광 발전
- (4) 삼성경제연구소(2007) : 부상하는 태양광발전 산업(제616호)
- (5) 조덕기, 강용혁(2007) : PV시스템 설치를 위한 경사면 태양광에너지 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, No.1
- (6) 유권중 외(2007) : 전문가시스템을 이용한 태양광 어레이의 최적설치 각도에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, No.1
- (7) D. Feuermann, and A. Zemel(1992) : Validation of Models For Global Irradiance, on Inclined Planes, Solar Energy, Vol. 48, No. 1, pp. 59-66

이 논문은 2010년 선박안전기술공단 자체연구 중 일부 내용임을 밝힙니다.