

에너지 절감을 위한 태양광 발전시스템의 선박 적용 타당성 연구

김경환* · 전현민*** · 김성완***

*, *** 한국해양수산연수원 교수, ** 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

A Study on the Feasibility of Applying Solar Power Generation Systems to Merchant Ships for Energy Saving

Kyunghwan Kim* · Hyeonmin Jeon*** · Seongwan Kim***

*, *** Professor, Korean Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

** Professor, Division of Marine System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 선박으로부터 발생하는 온실가스 배출을 저감하기 위한 규제가 점차 강화되고 있다. 현존선에서도 EEXI(Energy Efficiency Existing Index)가 도입되었으며 이와 같은 온실가스 배출 감축목표를 달성하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 국제항해에 종사하는 현존선 중 자동차운반선에 태양광 발전시스템을 적용하여 연료유 사용량을 줄임으로써 온실가스 배출이 저감될 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 태양광 발전시스템은 태양광 모듈, 에너지저장시스템, 전력변환장치 등으로 구성되었으며, 본 시스템의 적용 가능성을 확인하기 위해 전력전자프로그램을 통해 시스템을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 실시하였다. 또한, 실제 선박에 적용하기 위한 타당성 검증을 위해 경제성 분석을 실시하였으며, 약 11년 이후 경제성 부분에서도 유의미한 결과가 도출됨을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 온실가스, EEXI, 태양광 발전시스템, 경제성 분석

Abstract : Regulations to reduce greenhouse gas emissions from ships are gradually being strengthened. EEXI (Energy Efficiency Existing Index) has been introduced in existing ships, and various studies are aimed at achieving the greenhouse gas emission reduction target are currently underway. In this study, we proposed a method to reduce greenhouse gas emissions through reducing fuel oil consumption by applying a solar power generation system to a pure and truck carrier among existing ships engaged in international voyages. The proposed photovoltaic power generation system consists of a photovoltaic module, an energy storage system, and a power conversion device. To confirm applicability, the system was modeled through a power electronics program, and a simulation was performed. In addition, economic analysis was conducted to check the feasibility of application to real ships, and it was confirmed that significant results were derived in the economical aspect after about 11 years had elapsed.

Key Words : Greenhouse Gas, EEXI, Photovoltaic Power Generation System, Economic Analysis

1. 서 론

선박으로부터 발생하는 온실가스 배출을 저감하기 위해 2018년 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 산하 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)에서는 2050년까지 국제해운 온실가스 총배출량을 2008년 대비 50% 감축하겠다는 목표를 설정하였다(MOF, 2020). 또한, 최근 해양환경보호위원회에서 해양오염방지협약이 개정됨에 따라 2023년 1월 1일부터 현재 운항 중인 국제항해선

박에서도 온실가스 배출규제가 적용된다. 기존에는 신조선에 한정하여 선박 제원을 기반으로 계산결과를 도출하는 선박에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)를 적용하고 있었다(Class NK, 2021). 그러나 개정된 협약에 따라 운항 중인 현존선에서도 선박의 에너지효율을 개선하기 위해 EEDI와 유사한 방식의 선박에너지효율지수(EEXI, Energy Efficiency Existing Index)와 선박탄소집약도지수(CII, Carbon Intensity Indicator) 감축률을 충족하여야 하며, 검사기관으로부터 이에 대한 충족여부를 검증받아야 선박의 운항이 가능하다(MOF, 2021).

이와 같이 선박에서 온실가스 배출 감축목표를 달성하기 위해 조선·해운 산업계 및 연구기관 등에서 다양한 방안을

* First Author : khkim@seaman.or.kr, 051-620-5796

† Corresponding Author : jhm861104@kmou.ac.kr, 051-410-4841

모색하고 있으며, 현존선에서는 목표를 충족하기 위해 최적 항로 운항 설계, 저탄소 연료를 사용하는 방안과 함께 기관 출력 제한을 통한 연료소모량 감소에 따른 온실가스 배출량 저감을 도모하고 있다. 기존의 태양광 발전시스템 관련 연구는 주로 육상설비에 적용하기 위한 제어알고리즘 개선과 관련된 연구가 많이 진행되었으며, 선박에서는 소형 어선에 적용하기 위한 연구가 주로 수행되었다(Hwang et al., 2019; Jeong et al., 2020).

본 연구에서는 국제항해에 종사하는 현존선에서 온실가스 배출을 줄일 수 있는 한 가지 방안으로서 태양광 발전시스템의 선박 적용 타당성에 대해 연구하였다. 먼저 태양광 발전시스템을 적용하기 위해 현존선 중 태양광 발전시스템을 적용하는데 가장 적합한 자동차운반선(PCTC, Pure Car Truck Carrier)을 대상선박으로 선정하였으며, 대상선박에 설치 가능한 태양광 발전시스템의 면적을 도출하고 활용 가능한 공간에 따른 발전시스템 및 에너지저장시스템, 전력변환장치 등을 적용한 태양광 발전시스템을 모델링하였다. 모델링한 태양광 발전시스템을 통해 대상선박의 항로에 따른 수평면 평균일사량을 적용하여 시스템 적용 가능여부를 확인하였으며, 선박 적용 타당성을 검증하기 위해 경제성분석에서 일반적으로 사용되는 순현재가치법(NPV, Net Present Value) 및 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)을 이용하여 경제성 분석을 시행하였다.

2. 선박 적용을 위한 태양광 발전시스템

2.1 태양광 발전시스템의 개요 및 구성

태양광 발전시스템은 태양광 에너지를 이용하여 빛 에너지를 모아 전기로 바꾸는 시스템으로 기존에 선박에 탑재된 엔진과 같이 연료 공급이 필요 없어 배기가스의 배출이 전무하다. 또한, 소음이 발생하지 않는 친환경 발전시스템으로서 최근에 설치되고 있는 태양광 발전시스템은 내구성이 강화되어 장기간 사용하는 것이 가능하며, 장소에 관계없이 쉽게 설치가 가능하다. 본 연구에서는 태양광 모듈 50[kW], 에너지저장시스템 100[kWh] 2세트 및 DC-DC 컨버터를 이용하여 Fig. 1과 같이 태양광 발전시스템을 구성하였다.

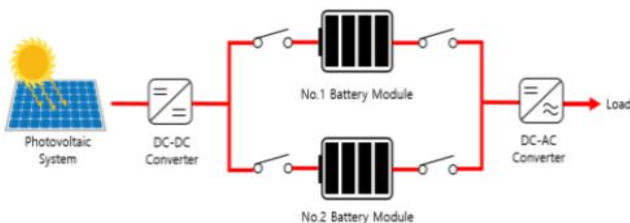


Fig. 1. Overall configuration diagram of the solar power system.

2.1.1 태양광 시스템

태양광 시스템은 태양광이 조사되면 광전효과에 의해서 전기가 발생하는 원리를 적용한다. 빛을 비추었을 때 광자가 흡수되어 금속의 원자 또는 분자에 속박되어 있던 전자를 전리시키는 광전효과가 발생하며, 이러한 현상을 이용하여 태양광을 통해 전기를 발생시킨다. Fig. 2와 같이 태양광 시스템은 최소 단위인 셀과 셀이 모여서 만들어진 모듈 그리고 여러 개의 모듈이 결합한 어레이로 구성된다.

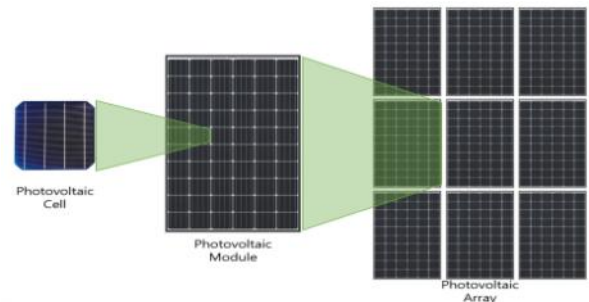


Fig. 2. Configuration of solar power system.

본 연구에서 적용한 태양광 모듈은 1.956[m]×1.310[m] 크기의 500[W] 단일 패널이며, Fig. 3과 같이 대상선박의 설치 장소에 맞추어 설치면적을 계산하고 전체 발전시스템의 용량 50[kW]에 맞춰 태양광 모듈을 직·병렬로 배치하였다.

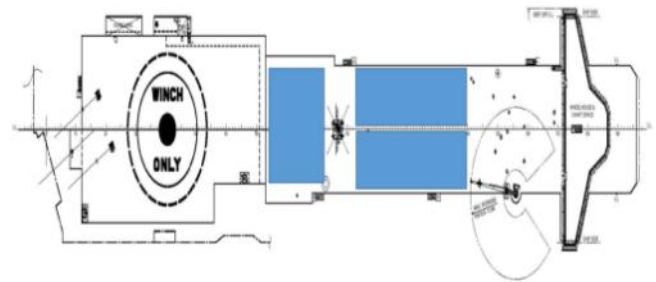


Fig. 3. Installable location of solar power system.

2.1.2 최대전력점추적제어기(MPPT, Maximum Power Point Tracker)

Fig. 4와 같이 태양광 모듈의 전압-전류 특성에 따라 출력되는 전력이 최대가 되는 점이 있으며 이 지점을 최대전력점이라 한다. 태양광 모듈에서는 조사되는 일사량과 온도에 따라 최대전력점이 지속적으로 변하기 때문에 항상 최대전력점을 추종가능한 제어기를 적용하는 것이 필수적이며, 본 연구에서 적용한 태양광 발전시스템의 제어기는 보편적으로 많이 적용하고 있는 최대전력점추적제어기(MPPT)를 적용하였다(Enslin et al., 1997; Hussein et al., 1995).

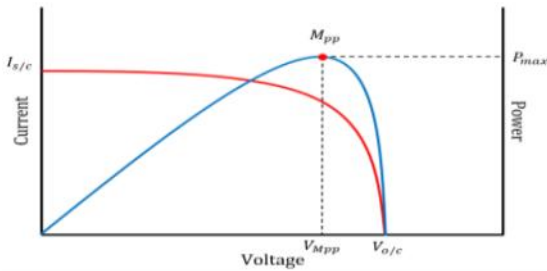


Fig. 4. Maximum power point tracking control of solar system.

2.1.3 DC-DC 컨버터

태양광 모듈에서 발생된 전기를 배터리에 충전하기 위한 용도로서 Fig. 5와 같은 DC/DC 컨버터를 적용하였다. DC-DC 컨버터는 태양광 모듈에서 발생하는 입력전압을 승압하여 출력하는 역할의 부스터 컨버터를 적용하였으며, 컨버터는 반도체 스위칭 소자·인덕터·커패시터로 구성되고 반도체 스위칭 소자의 ON/OFF 동작에 따라 작동하도록 제어시스템을 설계하였다. 이를 통해 태양광 모듈에서 발생하는 전력을 배터리시스템에 충전 가능하도록 시스템을 구성하였다.

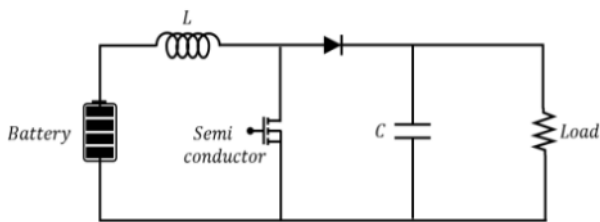


Fig. 5. Concept of DC-DC boost converter.

2.1.4 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System)

태양광 발전시스템에서 생산된 전력을 저장하기 위해 에너지저장시스템을 구성하였으며, 대상선박에 적용하기 위한 배터리 용량은 사용주기와 방전심도를 고려하여 총 200[kWh]로 선정하였다. 200[kWh] 배터리를 각각 100[kWh] 모듈로 분리하여 태양광 발전시스템으로부터 한 모듈이 충전되는 경우 다른 모듈은 방전할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

2.2 대상선박 선정 및 운항항로 설정

2.2.1 대상선박의 선정

본 연구에서는 태양광 발전시스템을 적용하기 위한 대상선박으로 차량 7,400대를 적재할 수 있는 자동차운반선을 선정하였다. 자동차운반선의 최상 갑판에는 통풍을 위한 팬(Fan) 이외에 타 시설물이 없는 단순한 구조로 태양광 발전시스템 설치에 적합하며, 항해 중 차량갑판 작업 시 사용하는 형광등의 부하를 감당하기 위해 추가로 발전기를 운전하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에 발전기를 추가로 운전하

지 않고 부족분만큼의 전력을 태양광 발전시스템에서 공급하면 선박 연료유 소모량을 줄일 수 있으므로 대상선박으로 선정하였다.

대상선박은 총 12개의 차량갑판으로 구성되어 있으며, 각 갑판별 40[W] 형광등이 400개가량 설치되어 있고 차량갑판에 설치된 형광등의 총 개수는 약 5,000개 정도이다. 차량갑판에서 작업을 위해 형광등을 동시에 이용할 경우에 200[kW] 정도의 부하가 한 번에 필요하게 된다.

2.2.2 운항항로 설정

대상선박의 운항항로는 Fig. 6과 같이 아시아(Gunsan, Mokpo, Pyeongtaek, Lianyungang), 싱가포르(Singapore) 및 중동(Jebel ali, Hamad, Damman, Kuwait, Sonar)을 왕복하는 항로를 기준으로 설정하였다. 정확한 태양광 발전량 산출을 위해서 기항시간에 따른 항만별 입사각 정보 측정이 필요하나, 아시아, 싱가포르, 중동의 지역별 스케줄 변동 가능성과 경제성 분석의 장기성을 고려할 때 단기적 정확성은 불필요한 부분이 있다. 따라서 동일 위도에서는 비슷한 태양 복사 입사각을 가지고 있음을 고려하여 Fig. 6과 같이 위도 10도 간격의 6개의 지역으로 구분하였다. 태양 입사각 정보는 기항항만 및 항로상 가까운 지역의 태양입사각 정보를 RETScreen의 NASA 및 지역 관측소 자료를 이용하여 구하였으며, 구분된 지역의 월간 태양 입사각은 Table 1과 같다.

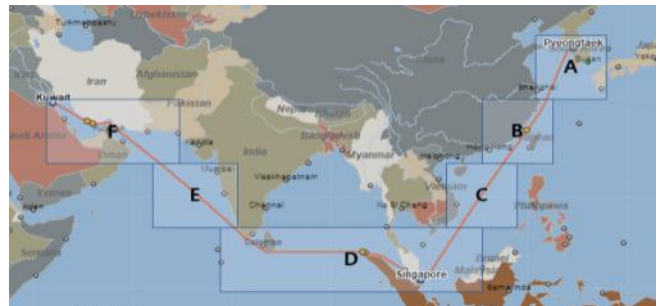


Fig. 6. The route of target ship.

Table 1. Daily solar radiation - horizontal by each sector

(Unit: kWh/m²/day)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVE
A	2.62	3.47	4.28	5.21	5.47	5.05	4.55	4.63	4.15	3.62	2.76	2.38	4.01
B	2.46	2.59	2.98	3.83	4.20	4.16	5.41	4.75	3.84	3.40	2.82	2.58	3.59
C	4.68	5.54	6.29	6.92	6.62	6.28	6.17	5.82	5.42	4.87	4.31	3.91	5.57
D	4.98	5.55	5.77	5.71	5.18	4.86	4.82	4.89	4.84	4.70	4.30	4.26	4.99
E	5.21	6.19	7.08	7.64	7.55	6.21	5.29	5.30	5.77	6.14	5.47	4.92	6.06
F	3.60	4.48	5.31	6.18	7.04	7.48	6.95	6.66	6.11	5.14	4.00	3.33	5.52

2.3 시뮬레이션 모델링 및 결과 분석

Fig. 7은 대상선박으로 선정된 자동차운반선의 태양광 발전시스템 적용을 위해 50[kW]급 발전용량을 가지는 태양광 발전시스템을 시뮬레이션으로 구성한 그림이다. 전력분석프로그램 PSIM을 이용하여 500[W] 용량의 태양광 패널을 직·병렬 조합으로 총 50[kW] 급 발전시스템을 구성하였으며 태양광에서 발전된 전기를 저장하기 위한 에너지저장시스템은 100[kWh] 모듈 2개를 조합하여 총 200[kWh]로 설정하였다. 또한, 태양광 발전시스템에서 발생한 전력을 배터리에 저장하기 위해 필수적으로 필요한 전력변환장치는 DC-DC 부스트 컨버터로 구성하여 전체 시스템을 모델링하였다.

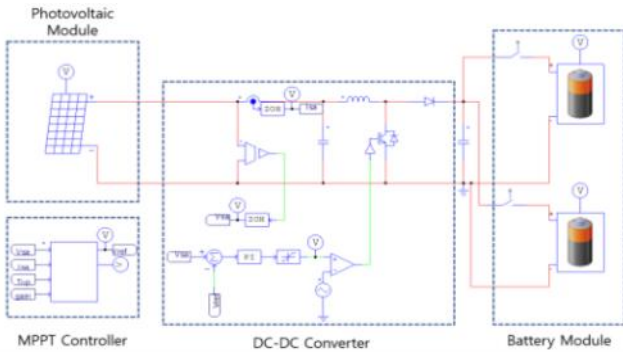


Fig. 7. Simulation diagram of a solar power system.

Table 1에서 제시된 수평면 평균일사량 데이터와 하루 평균 일조시간을 적용하여 대상선박의 운항항로에 따라 생산되는 태양광 발전시스템 출력은 Fig. 8과 같고, 시스템 설계에서 예상한 태양광 발전출력이 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 9와 같이 태양광 발전시스템에서 출력이 발생하는 동안 배터리 저장시스템에 충전량이 정상적으로 증가함을 알 수 있다.

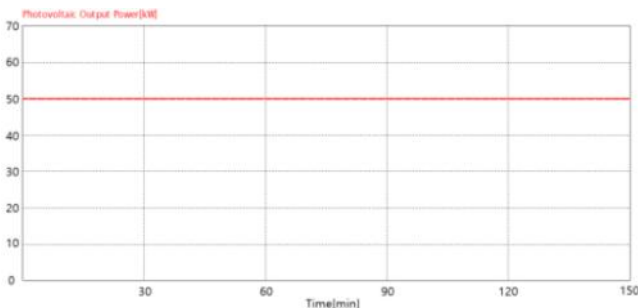


Fig. 8. Output of solar power system.

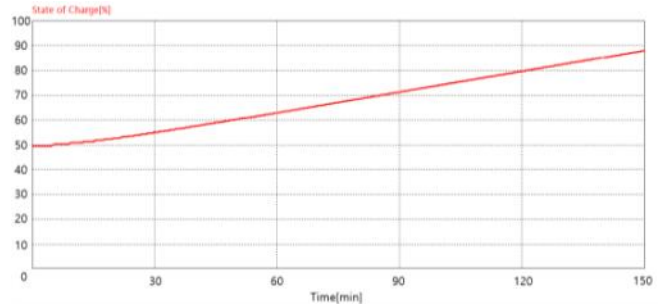


Fig. 9. SOC of energy storage system.

3. 태양광시스템 적용을 위한 경제성 분석

3.1 경제성분석 데이터 선정

일반적으로 태양광 시스템을 이용한 경제성분석에서 비용으로 발생하는 부분은 태양광 패널의 설치와 운용비, 타 인자본으로 인한 금융비용등이며, 편익으로는 SMP(System Marginal Price)와 같이 태양광 발전에 따라 발생하는 이익을 편익으로 이용한다. 본 연구에서도 기본적인 틀에서 패널 및 ESS 등의 장치 설치와 운용비용등을 선정하였으나 금융비용은 선박의 태양광 설치에 따른 보조금 지급 등의 제도 미비와 향후 이러한 설비의 설치를 위한 대출과 관련된 변동성이 있어 고려하지 않았다. 편익의 경우 육상 태양광의 경우 SMP등의 명확한 기준 등을 이용할 수 있으나 선박은 그러한 명확한 내용이 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 태양광발전을 통하여 발전된 전력량만큼 감소된 연료량을 근거로 절감된 연료비를 편익으로 하였으며, 그 외 환경적 가치는 고려하지 않았다. 경제성분석에 활용하기 위한 할인율은 예비타당성 조사 등에서 활용되는 할인율인 4.5%를 기준으로 하였다. 물가상승률은 Clarkson Research(2021)에서 OECD Inflation의 20년(2001~2020) 평균인 2.1%로 계산하였다.

경제성 분석기간을 선정함에 있어서 선박의 경우 국내의 법인세법 시행규칙에 따른 기준 내용연수는 9년에서 15년이지만 자동차운반선과 유사한 컨테이너선의 최근 20년(2001~2020)간 해체까지의 평균 선령은 약 26년으로 차이가 있었다. 태양광 패널의 경우 서비스 보장기간은 20~25년이 일반적이었으며, ESS의 경우 10~15년으로 태양광 시스템과 관련된 장비마다 내용연수에는 차이가 발생했다. 그러나 ESS의 사용효율이 전체 용량 대비 보통 50%선에서 이용되는 것을 고려할 때, 보장기간보다 사용기간은 늘어날 가능성이 있을 것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서는 10년, 15년, 20년을 나누어 경제성 분석을 하였다.

3.2 비용 및 편익 항목 선정

비용의 경우 먼저 500[W] 패널 100개, 100[kWh] ESS 2개의 구입비와 구입비 대비 5%의 설치비용을 고려하였다. 운영비용은 기존 선행연구(Ju et al., 2008)를 참조하여 매년 구입비용의 1%로 산정하였다. 일반적으로 기존 선행연구가 육상에서 이루어져 해상에서의 운영비용이 증가할 수도 있으나 자동차운반선의 특성상 태양광 패널이 설치되는 위치가 해면상 비교적 높은 점을 고려하여 기존 선행연구 중에서도 운영비용을 높게 측정된 연구를 참조하였다.

편익의 경우 시뮬레이션에서 기상상태가 최적일 경우 충분히 패널의 최대 전력량만큼 발전 및 축전이 가능할 것으로 분석되었다. 그러나 강수가 발생하는 등의 기상상태에서는 충분한 수준까지 태양광을 받을 수 없으므로 구분된 섹터의 항로와 가까운 지역의 나라별 평균 강우일수를 각 섹터별 항해 일수와 가중 평균하여 운항항로의 평균 강우일수를 약 122일로 구하였다. 따라서 해당 평균 강우일수를 제외한 날만큼 발전한다고 가정하여 연간 전력 생산량(Annual solar power production)을 구하였다. 선박 태양광 발전설비의 경우 명확한 경제적 산출량이 없으므로 태양광 발전을 통해서 얻게 되는 전력량만큼을 생산하기 위해 필요한 연료비를 근거로 하여 산출하였다. 특히, 선박의 경우 항해중과 정박 중 발전기 부하가 달라짐에 따라서 필요한 발전용량의 부하도 달라져 연료소모량에도 차이가 발생하며 사용하는 연료가격도 다른 문제점이 있다. 따라서 자동차운반선의 평균적인 항해 및 정박기간 산출이 필요하다. Stopford(2008)는 VLCC의 평균 항해일수를 288일로 보아 평균 항해비용은 78.9%로 보았으며, 본 연구의 자동차운반선은 평균 항해일수는 약 323일 정도로 추정되어 항해비용은 약 88.5%이다. 따라서 검증된 문헌과 실제 비율 및 자동차운반선의 특성상 스케줄 변동이 잦은 가능성을 고려하여 항해비용은 85%로 계산하였다. 사용된 연료는 항해중의 경우 스크러버 미설치 선박을 감안하여 황함유량 0.5% 미만의 VLSFO(Very Low Sulfur Fuel Oil)와 스크러버 설치선박이 사용할 수 있는 HSFO(High Sulfur Fuel Oil)로 나누어 구분하였으며, 정박 중에는 MGO(Marine Gas Oil)를 기준으로 하였다. 유종별 연료유가격은 최근 가격 변동을 고려하여 Clarkson Research(2021)에서 항로상 존재하는 Singapore 항만의 황함유량 규제 이후 최근 1년(2020.10~2021.09)의 자료를 이용하여 분석하였다. 비용과 분석에 대하여 정리한 내용은 Table 2와 같다.

Table 2. Elements of Cost / Benefit analysis.

Factor	Value
Solar panel system	$\$300(\text{per } 500\text{W panel system}) \times 100(\text{ea}) = \$30,000$
Energy Storage System	$\$1200 (\text{per } 1\text{kWh}) \times 200(\text{kWh}) = \$240,000$
Cost	
Installation cost	$\{\$30,000(\text{Solar panel system}) + \$240,000(\text{ESS})\} \times 5\% = \$13,500$
Operation cost	$\{\$30,000(\text{Solar panel system}) + \$240,000(\text{ESS})\} \times 1\% = \$2,700 (\text{annual})$
Benefit	
At sea (VLSFO)	$12,150\text{kWh}(\text{Annual solar power production}) \times 85\%(\text{Voyage ratio}) \times 3.6\text{mt}/640\text{kWh}(\text{F.O consumption at sea}) \times \$473.18/\text{mt}(\text{Bunker price}) = \$27,476.57(\text{annual})$
At sea (HSFO)	$12,150\text{kWh}(\text{Annual solar power production}) \times 85\%(\text{Voyage ratio}) \times 3.6\text{mt}/640\text{kWh}(\text{F.O consumption at sea}) \times \$374.76/\text{mt}(\text{Bunker price}) = \$21,769.80(\text{annual})$
In port (MGO)	$12,150\text{kWh}(\text{Annual solar power production}) \times 15\%(\text{Port ratio}) \times 6\text{mt}/1200\text{kWh}(\text{F.O consumption in port}) \times \$507.50/\text{mt}(\text{Bunker price}) = \$4618.77(\text{annual})$

4. 경제성 결과 분석

경제성 분석 결과 Table 3과 같이 선박의 연료유로 VLSFO 나 HSFO를 사용한다는 가정아래 10년의 분석기간에서는 NPV는 음수가 나와 경제적 타당성이 부족한 것으로 나타났으며, 해당기간 NPV를 0으로 만드는 할인율은 각각 3%, 2% 수준으로 설정한 4.5% 할인율과는 각 1.5%, 2.5% 차이가 발생했다. 10년간의 분석기간과 다르게 15년과 20년의 분석기간에서는 VLSFO와 HSFO 모두에서 NPV는 0 이상의 값이 도출되어 경제성이 충분한 것으로 분석되었다. VLSFO와 HSFO를 이용하는 모두에서 Fig. 10과 같이 11년 이후 NPV는 양수로 전환되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 선박과 태양광 패널의 보증기간 이내이며, ESS의 최소보증기간 10년을 넘어서긴 하나 일반적으로 ESS의 사용연한이 기술개발에 따라 발전함에 따라서 10년 이상으로 추정하는 것을 감안한다면 어느 정도의 경제적 타당성이 있는 것으로 분석된다. 지원금 및 대출 실행이 없고 환경적 가치를 고려하지 않았음에도 11년 이후부터는 경제성이 존재함을 고려한다면 시스템의 내용연수 내에서도 충분한 경제적 타당성이 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. Comparison of Cost / Benefit analysis

	Period	VLSFO	HSFO
NPV	10 years	\$24,236	\$29,812
	15 years	\$84,482	\$78,906
	20 years	\$181,276	\$175,700
IRR	10 years	3%	2%
	15 years	8%	8%
	20 years	11%	10%

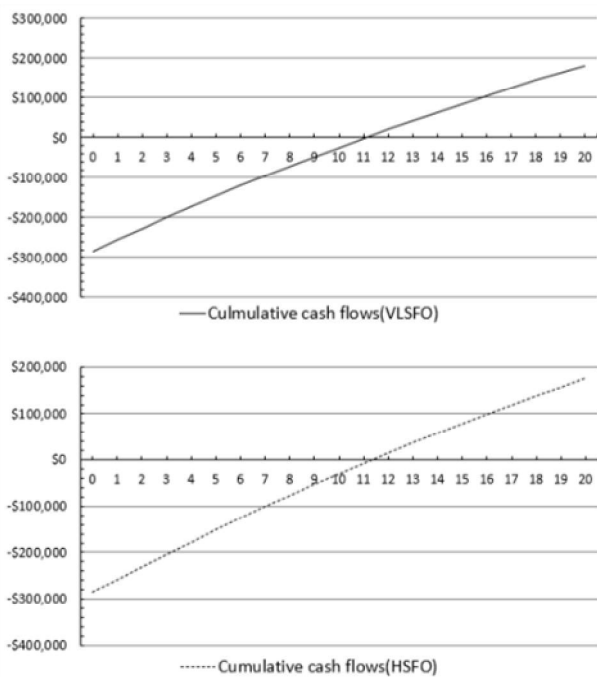


Fig. 10. Cumulative cash flows by each fuel oil.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국제항해에 종사하는 현존선 중 자동차운반선을 대상선박으로 태양광 발전시스템의 설치가 가능한 공간을 도출하고 에너지저장시스템, 전력변환장치 등을 적용한 태양광 발전시스템의 시뮬레이션모델을 설계하였다. 시뮬레이션 모델링에 적용하기 위한 대상선박의 항로를 선정하여 각 항로의 지점별 평균 수평면 일사각을 이용한 태양광 발전시스템 적용 가능성 여부를 확인하였다. 추가적으로 선박에 적용하기 위한 타당성을 검증하기 위해 순현재가치법(NPV) 및 내부수익률(IRR)을 이용하여 경제성 분석을 시행하였다. 분석결과, 본 시스템을 설치 후 11년이 지나

시점에서 어느 정도 유의미한 경제적 타당성이 분석됨을 확인할 수 있었다.

하지만 본 연구에서는 대상선박의 운항항로가 상대적으로 평균 수평면일사각의 값이 큰 중동항로에 대해서만 수행하고, 실제 항로상의 정확한 자료의 미비로 항로와 근접한 육상 등의 데이터를 일부 인용한 것에도 아쉬움이 있다. 그럼에도 불구하고 최근 현존선에 대한 환경오염 물질 배출제한 규정을 지키기 위한 시스템 구축 및 경제적 타당성을 검증한 선행적 연구로써 충분한 의미가 있다고 판단된다.

References

- [1] Clarkson research(2021), Shipping Intelligence Network, <http://lps3.sin.clarksons.net> (accessed 2021.10.20.)
- [2] Enslin, J. H. R., M. S. Wolf, D. B. Snyman, and W. Swiegers (1997), Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter, IEEE, Vol. 44, Issue. 6, pp. 769-773.
- [3] Hussein, K. H., I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada(1995), Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions, In Proc. Inst. Elect. Eng., Vol. 142, No. 1, pp. 59-64.
- [4] Hwang, J. Y., C. H. Jeon, H. M. Jeon, and J. S. Kim(2019), A study on the application of domestic ferry to a battery propulsion ship connected with photovoltaic system, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol 25(7), pp. 945-952.
- [5] Jeong, B. U., H. M. Jeon, S. W. Kim, J. S. Kim, and Z. Peilin(2020), Evaluation of the lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity, Journal of Marine Science and Engineering, Vol 8(8), pp. 580.
- [6] Ju, J. W., H. S. Kim, S. J. Oh, S. Y. Ha, and J. M. Choi(2008), A study on the economic evaluation of photovoltaic system in the residential building by the amount of electricity used, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, Vol. 2, No. 2, pp. 28-34.
- [7] Marine GHG Certification Department, Class NK(2021), EEXI Regulation, Tokyo, Japan.
- [8] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2020), Introduction of Marine pollution regulations, Sejong, Korea.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2021), Revision of the convention on prevention of marine pollution related to greenhouse gas, Sejong, Korea.

- [10] Stopford, M.(2008), Maritime Economics 3rd, Taylor & Francis, p. 155.

Received : 2021. 11. 01.

Revised : 2021. 12. 01.

Accepted : 2021. 12. 28.