

태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박의 국내 유람선 적용에 관한 연구

황준영* · 전철환** · 전현민*** · 김종수****

* 한국해양대학교 석사과정, ** 한국해양대학교 석사학위, *** 한국해양대학교 박사과정,

**** 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

A Study on the Application of Domestic ferry to a Battery Propulsion Ship connected with Photovoltaic System

Jun-Young Hwang* · Cheol-Hwan Jeon** · Hyeon-Min Jeon*** · Jong-Su Kim****

* Master's Course, Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

** Master's Degree, Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Doctor's course, Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

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

요 약 : 지구온난화 및 대기오염 등 환경문제에 대한 관심이 대두되면서 국제해사기구의 선박 대기오염물질 배출 규제 및 협약이 채택되었으며, 최근 국내에서는 항만지역 등 대기질의 개선에 관한 특별법안이 제정되어 미세먼지 발생량을 줄이고자 다방면으로 노력하고 있다. 이러한 미세먼지 저감대책의 일환으로 노후화된 연안선박의 디젤엔진을 미세먼지 및 배출가스가 없는 배터리 전기추진시스템으로 전환하는 것에 대한 타당성 조사가 활발히 진행되고 있다. 배터리 전기추진시스템은 연료의 연소로 인한 배기가스의 발생이 없으며, 신재생에너지원의 적용이 용이하므로 유럽이나 미국과 같은 선진국에서는 수년전부터 신재생에너지를 적용한 배터리 전기추진시스템이 적용된 소형연안여객선이 운항 중이나 국내에서는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 국내 소형연안여객선을 대상선박으로 선정하여 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박의 적용 여부에 대해 시뮬레이션을 하였으며, 그에 따른 결과를 바탕으로 배터리 전기추진선박의 적용가능성을 확인하고자 한다.

핵심용어 : 미세먼지, 배터리 전기추진선박, 신재생에너지, 태양광 발전시스템, 연안여객선

Abstract : The International Maritime Organization (IMO) adopted the International Convention on the Control of Ships' Air Pollutants and Discharge as it became interested in environmental issues such as global warming and air pollution. In addition, a special bill on the improvement of air quality, including in port areas, has recently been enacted in Korea to reduce the amount of fine dust generated. As part of such fine dust reduction measures, feasibility studies have been underway on converting diesel engines into battery electric propulsion systems that do not cause fine dust and emissions. Since the battery electric propulsion system can easily utilize renewable energy sources, and does not generate exhaust gas due to combustion of fuel, small coastal ferries with battery electric propulsion systems that use renewable energy have been operating in Europe and the U.S. for several years. However, they have not been introduced in Korea. Therefore, in this study, we selected small coastal ferries in Korea as target ferries, and performed simulations to study the applicability of electric propulsion with batteries linked to solar power systems. Based on the results, we want to confirm the applicability of battery electric propulsion.

Key Words : Fine dust, Battery electric propulsion, Renewable energy, Photovoltaic system, Domestic ferry

* First Author : hwangjun0@kmou.ac.kr, 051-410-4873

† Corresponding Author : jongskim@kmou.ac.kr, 051-410-4193

1. 서론

우리나라의 대표적인 항만인 부산항은 한해 2만 3천여척의 선박이 입출항하는 곳으로서 선박에서 배출되는 배기가스로 인해 세계 10대 초미세먼지 오염 항만으로 분류된다(Wan et al., 2016). 이러한 미세먼지를 저감하기 위한 여러 해결책 중 한 가지로서 선박의 추진시스템을 기존의 디젤엔진이 아닌 배기가스 배출이 전혀없는 배터리 전기추진시스템으로 대체하려는 타당성 조사가 진행되고 있다(Ericsen et al., 2006). 배터리 전기추진시스템은 질소산화물, 황산화물 및 이산화탄소 등의 배기가스가 전혀 배출되지 않으며, 시스템 구성이 비교적 간단하고 육상의 값싼 전력을 사용할 수 있는 장점이 있다(Lee et al., 2014). 또한 신재생에너지원의 적용이 용이하여 다양한 친환경 발전원의 구성이 가능하기 때문에 이를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 유럽이나 미국과 같은 선진국에서는 이미 배터리 전기추진 시스템이 적용된 소형연안여객선을 운항 중이다(Koumentakos, 2019).

따라서 본 연구에서는 실제 운항중인 국내 소형연안여객선을 대상선박으로 선정하여 신재생에너지원인 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박을 전력분석프로그램을 통해 모델링하였으며, 실제 선박의 Load Profile을 적용한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 태양광 배터리 전기추진선박의 적용가능성을 확인하였다.

2. 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진 선박의 실 선박 적용 검토

2.1 시뮬레이션 대상 항로

시뮬레이션 대상 선박으로는 현재 부산 태종대에서 운항중인 소형유람선 은하수 5호를 선정하였다. 선정된 유람선은 관광을 목적으로 운항하므로 선속이 빠르지 않고, 항로가 일정하여 선박을 운항하는데 필요한 시스템의 용량을 산정하기 용이하다. 운항 항로와 Load Profile은 Fig. 1과 Table 1과 같으며, 대상 선박의 상세 제원은 Table 2와 같다.

① 구간은 In port로 선박이 출항하기 위해 전타 및 증속하는 구간이다.

② 구간은 Maneuvering 구간으로 선박이 출항 후 항해속도인 8[knot]로 증속하는 구간이며 거리는 0.6[km]이다.

③~④ 구간은 Sea going 구간으로 평균 선속 8[knot]이며 거리는 7.4[km]이다.

⑤ 구간은 선박이 정박하기 위해 감속하고 접안하는 구간이다. 대상 선박인 은하수 5호의 항해속력은 8[knot], 운항 거리는 8[km], 운항시간은 총 33분이며 일일평균 4~5회 운항을 한다.

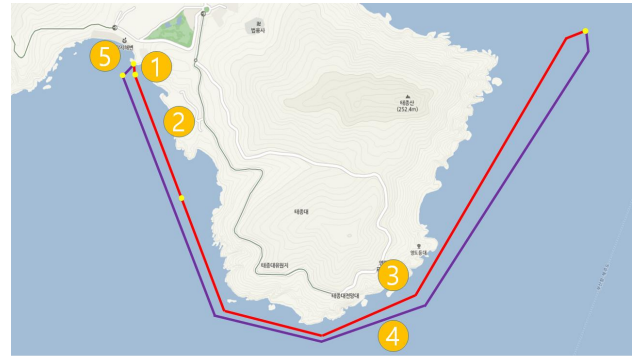


Fig. 1. Sailing route of target ferry.

Table 1. Load profile of target ferry

Unhasu No.5			
Section	Speed	Distance	Time
①	-	-	1 [min]
②	7 [knot]	0.6 [km]	2 [min]
③	8 [knot]	3.4 [km]	14 [min]
④	8 [knot]	4 [km]	15 [min]
⑤	-	-	1 [min]
Total		8 [km]	33 [min]

Table 2. Specification of target ferry

Unhasu No.5	
Length	21.4 [m]
Breadth	4.7 [m]
Gross tonnage	29 [ton]
Engine type	diesel engine
Power	271 [kw]
Capacity	96 [passenger]

2.2 시뮬레이션 적용 모델

Fig. 2는 스페인의 지중해 연안에서 실제 운항중인 태양광 발전시스템이 적용된 쌍동선형의 배터리 전기추진 선박이다. 쌍동선형은 태양광 발전용량을 증대시키기 위해 많은 면적을 확보할 수 있으며, 안전성이 매우 우수하다. 상부 면적은 160 m²로 태양광 발전 총 용량은 36[kW]이고, 배터리 총 용량은 244[kWh]이며 50[kW] 추진전동기 2대를 탑재하고 있다. 적용선박의 상세 제원은 Table 3에 나타내었다.



Fig. 2. Application model of the target ferry.

Table 3. Specification of application target ferry

Ecocat	
Length	18 [m]
Breadth	8 [m]
Propulsion motor	50 [kW] × 2ea
Battery	30.5 [kWh] × 8ea
Maximum speed	9 [knot]
Photovoltaic system	36 [kW]
Capacity	120 [passenger]

2.3 시뮬레이션 대상선박의 태양광 발전시스템

시뮬레이션 대상 선박에 사용되는 태양광 발전시스템은 300[W] 태양광 모듈 120개를 직렬 12개, 병렬 10개의 어레이로 구성하여 최대 36[kW]의 출력을 낼 수 있도록 구성하였다. 태양광 모듈과 어레이의 상세 제원은 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다.

Table 4. Specification of photovoltaic module

Ecocat	
Maximum power	300 [W]
Open circuit voltage	39.1 [V]
Short circuit current	9.9 [A]
Voltage at P _{MAX}	32.3 [V]
Current at P _{MAX}	9.3 [A]

Table 5. Specification of photovoltaic array

Ecocat	
Maximum power	36 [kW]
Open circuit voltage	469.2 [V]
Short circuit current	99 [A]
Voltage at P _{MAX}	387.6 [V]
Current at P _{MAX}	93 [A]

3. 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박의 구성 요소

Fig. 3과 같이 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박은 태양광 발전을 위한 태양광 모듈, 태양광에서 발전된 전력을 저장하기 위한 DC-DC 컨버터 및 배터리, 추진전동기의 속도제어를 위한 인버터 드라이브, 추진전동기로 구성되어 있다. 쌍동선형의 선체에 맞춰 추진 전동기 및 DC-AC 인버터를 2개로 구성하였으며, 비상상황을 대비를 위해 배터리 모듈도 122[kWh] 2개로 분할구성하였다. 배터리

모듈, 전력변환장치 및 추진전동기에 문제가 발생하더라도 지속적으로 추진력을 확보할 수 있으며, 두 개의 배터리 모듈 중 한 개의 배터리 모듈은 추진용을 위해 사용하고, 다른 배터리 모듈은 태양광 발전 시스템에서 발전되는 전력을 저장하도록 시스템을 구성한다.

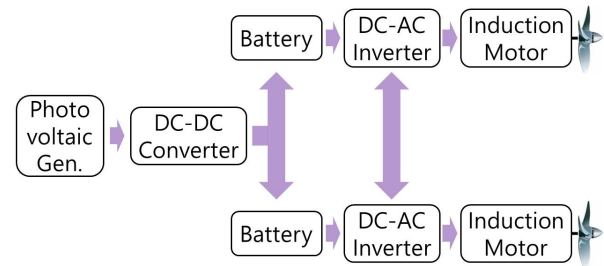


Fig. 3. Structure of battery electric propulsion system with PV system.

3.1 태양광 발전시스템

태양광 발전은 태양전지의 표면에 태양광(빛에너지)가 닿으면 빛에너지가 가지고 있는 에너지에 의해 정공(+)과 전자(-)가 발생하여 정공(+)은 p형 반도체로 전자(-)는 n형 반도체로 이동하여 전위차가 발생하게 되고 이때 부하를 연결하면 전류가 흐르게 된다. 하지만 태양전지 하나의 전압은 약 0.5V로 낮기 때문에 여러 장을 직병렬로 연결시켜 사용하는 데 이를 모듈이라 하며, 필요한 만큼의 전력을 얻기 위해 모듈 여러 장을 설계된 전압, 전류를 특성에 맞게 직병렬로 구성한 것을 어레이라고 한다(Foster et al., 2009; Patel and Shah, 2016). 시뮬레이션에서 구성한 태양광 발전시스템은 300[W] 태양광 모듈 120개를 직렬 12개, 병렬 10개의 어레이로 구성하여 최대 36[kW]의 출력을 낼 수 있도록 구성하였다.

3.2 DC-DC 컨버터

태양광 발전을 통해 발생한 469.2[V] 전압을 배터리 충전에 적합한 전압인 500[V]로 상승시키기 위해 승압형 컨버터를 사용한다.

3.2.1 승압형 DC-DC 컨버터의 구조

Fig. 4에서 트랜지스터가 턴온되면 다이오드는 역방향 바이어스 상태이다. 전원, 인덕터, 트랜지스터로 구성되는 경로를 따라 키르히호프 전압법칙을 적용하면 전류의 변화율은 항상 일정하므로 트랜지스터가 턴온되었을 때의 전류는 선형적으로 증가한다. 트랜지스터가 턴오프되어도 인덕터의 전류는 순간적으로 변하지 않고, 다이오드가 순방향 바이어스가 되어 인덕터 전류가 연속적으로 흐르도록 하는 경로가 된다(Atallah et al., 2014).

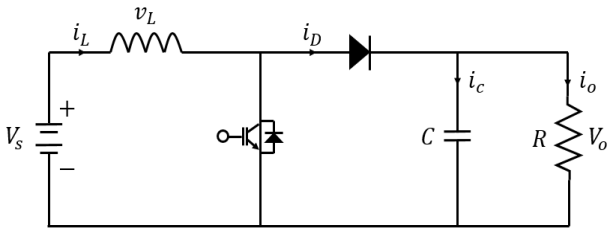


Fig. 4. Diagram of DC-DC converter.

3.2.2 승압형 DC-DC 컨버터의 제어기법

현재 상용화된 태양광 발전시스템의 발전효율은 대략 15-20% 정도로 다른 신재생에너지원의 발전효율에 비해 낮은 편이다. 따라서 태양전지에서 확보할 수 있는 최대전력을 추출하는 기술의 사용이 필수적이다. 태양전지는 일정한 일사량에서 출력전력이 최대로 확보되는 최대전력점(MPP, Maximum Power Point)이 존재하므로 최적의 최대전력점을 특정짓는 것은 복잡한 수행과정이 필요하며, 이를 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어라 한다(Febriyandi et al., 2014).

MPPT 제어기법은 일사량과 온도의 변화 등 다양한 요건이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 가장 널리 이용되고 있는 P&O(Perturb and Observe) 기법을 적용하였으며, P&O 방식의 알고리즘은 Fig. 5에 나타나 있다(Uddin et al., 2018).

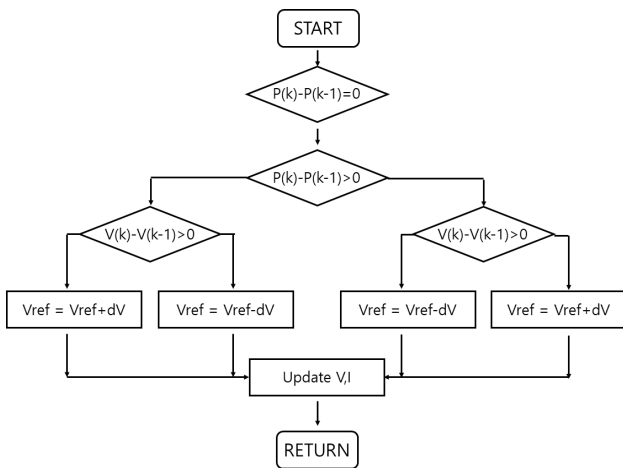


Fig. 5. Algorithm flow chart of P&O MPPT.

3.3 DC-AC 인버터

3.3.1 DC-AC 인버터의 원리

인버터의 원리는 전력용 반도체를 스위칭하여 직류전원을 임의의 주파수와 전압의 교류로 변환시켜 유도전동기의 회전속도를 제어하며 제어 기법은 전압의 크기와 방향을 제어함으로써 자속, 토크 및 주파수의 크기를 제어하는 간접벡터제어

기법을 사용하였다. 급가속 및 감속 운전에 한계가 없으며 과전류 억제 능력이 매우 뛰어난 장점이 있다(Kim et al., 2012).

3.3.2 간접벡터제어 기법

추진전동기의 속도제어 기법으로 적용된 간접벡터제어기법의 기본 개념은 슬립각속도 ω_{sl} 를 조절하여 고정자 전류를 필요한 자속성분전류와 토크성분전류의 비율로 분배하는 것이다. 원하는 자속과 토크성분전류의 비로 고정자 전류가 분배되도록 하는 슬립 각속도 ω_{sl} 로 동기 각속도 ω_e 를 제어하여 자속과 토크의 크기를 제어하는 방법이다. 토크와 자속 지령으로부터 주어진 d 와 q 축 지령 i_{ds}^* 와 i_{qs}^* 로부터 요구되는 슬립각속도 ω_{sl}^* 를 계산하여 이를 회전자의 각속도와 더하여 적분한 값으로 벡터 제어를 실행한다. 이처럼 간접벡터 제어 방식은 직접적으로 회전자 자속의 정보가 요구되지 않아 그 구현이 복잡하지 않다. Fig. 6은 간접벡터제어의 개념을 나타낸 다이어그램이다(Wu, 2006, Abdalrahman et al., 2012).

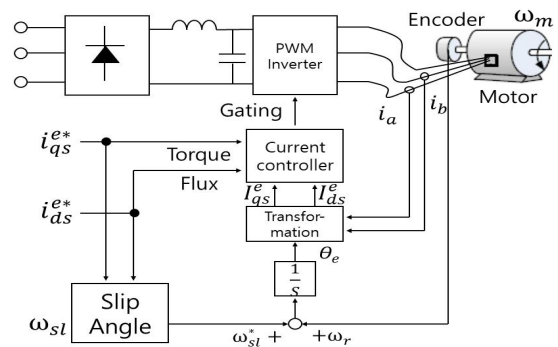


Fig. 6. Diagram of DC-AC inverter.

3.4 추진 전동기

최근 반도체 소자의 발전으로 전동기의 속도제어기법이 다양하게 개발되었으며, 따라서 간단한 구조, 가격이 저렴한 장점을 가진 유도전동기가 소형에서부터 대형까지 산업현장에서 많이 사용되고 있다. 본 시스템에서도 3상 유도전동기를 추진전동기로 적용하였다(Kim, 2017).

4. 시뮬레이션

Fig. 7은 Fig. 1에서 제시된 대상 항로를 바탕으로 분석된 Load Profile이다. 각 구간별 출력에 따른 추진전동기 속도 및 출력을 확인하기 위해 대상선박의 운항패턴을 In port, Maneuvering, Sea going의 세 구간으로 나누어 시뮬레이션 하였다.

태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박의 국내 유람선 적용에 관한 연구

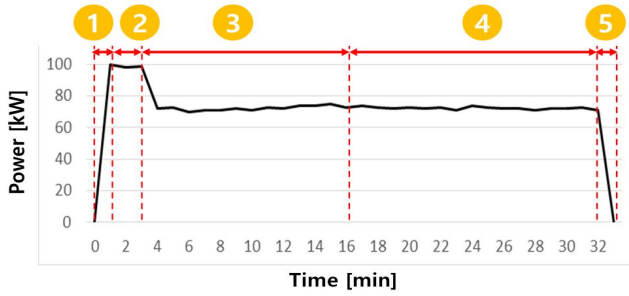


Fig. 7. Load profile of target ferry.

Fig. 8은 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진시스템의 전체 계통도이다. 태양광 패널에서 발생하는 전력은 DC-DC 컨버터에 의해 배터리 충전에 적합한 전압으로 승압되어 저장되며(Motahir et al., 2018), 배터리에 저장된 에너지는 인버터를 거쳐 교류로 변환되어 추진전동기를 구동한다. 총 8개의 30.5[kWh] 배터리 모듈은 122[kWh] 2개의 배터리 모듈로 구성하여 비상상황에도 추진이 가능하도록 하였다. 또한 시뮬레이션 대상 모델의 Load Profile 분석 결과 Maneuvering 구간에서 가속하기 위해 최대 100[kW]의 출력이 필요한 것을 확인하였다. Fig. 8에서 요구되는 최대 출력을 2개의 추진기를 가지는 쌍동선형인 적용모델로 충족시키기 위해 2개의 50[kW] 전동기를 적용함으로써 적용모델과 대상 선박이 동일한 출력으로 동일한 선속을 얻도록 하여 운항시간을 일치시켰다.

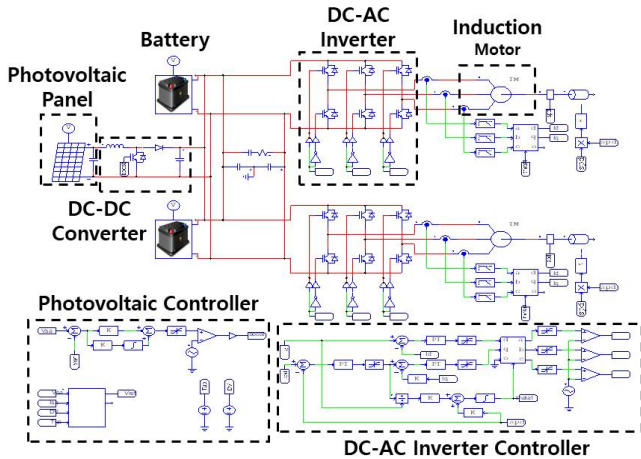


Fig. 8. Circuit diagram of Battery electric propulsion system with photovoltaic system.

시뮬레이션을 위해 구성한 태양광 발전시스템, 배터리 및 추진전동기의 파라미터는 Table 6, 7, 8과 같다.

Table 6. Parameter for Photovoltaic Array

Maximum Power	36 [kW]
Open Circuit Voltage	469.2 [V]
Short Circuit Current	99 [A]
Maximum Power Voltage	387.6 [V]
Maximum Power Current	93 [A]

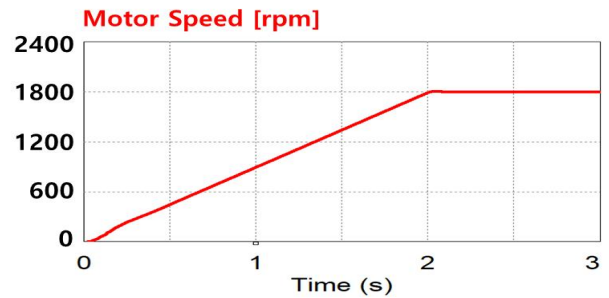
Table 7. Parameter for Battery Module

Voltage	500 [V]
Capacity	244 [Ah]

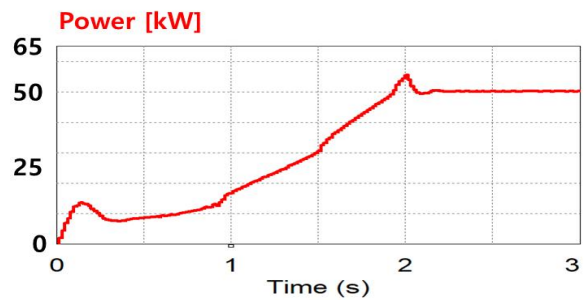
Table 8. Parameter for Propulsion Motor.

Rated Output	50 [kW]
Pole	4
Rated Speed	1800 [RPM]

Fig. 9는 In port 시 추진전동기의 속도가 0[rpm]에서 1800[rpm]까지 증가하는 구간에서의 추진전동기 속도응답 및 출력을 나타내며, 시뮬레이션 시간은 실제 In port시간의 1/20로 축소하여 3초간 시행하였다. 추진전동기는 속도지령값에 맞춰 오차없이 목표값에 도달함을 확인할 수 있으며, 정상상태범위에서 추진전동기의 속도와 출력이 안정적으로 유지되는 것을 알 수 있다.



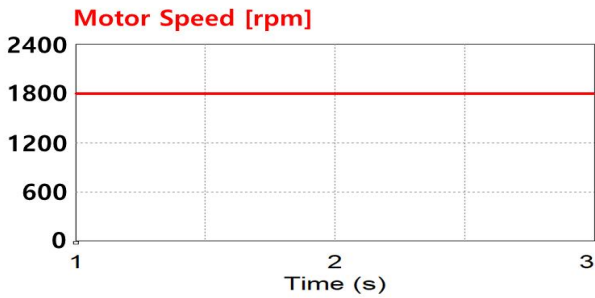
(a) Speed response of Propulsion motor



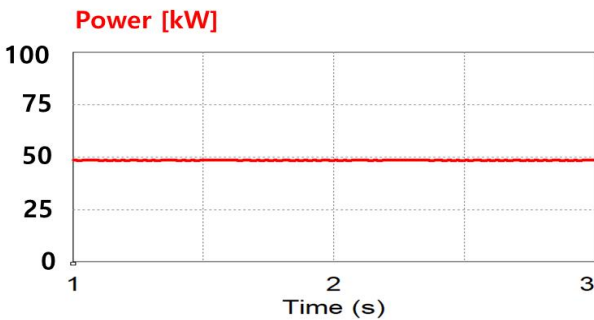
(b) Output power of Propulsion motor

Fig. 9. Simulation result in port.

Fig. 10은 Maneuvering 상태에서 추진전동기의 지령속도가 1800[rpm]일 때의 속도응답특성 및 출력을 나타낸다. 추진전동기의 속도와 출력이 안정적으로 유지되는 것을 볼 수 있다.



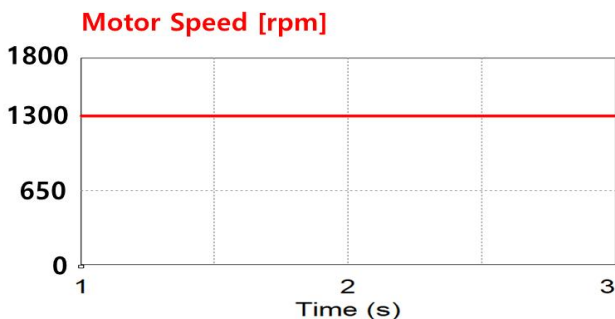
(a) Speed response of Propulsion motor



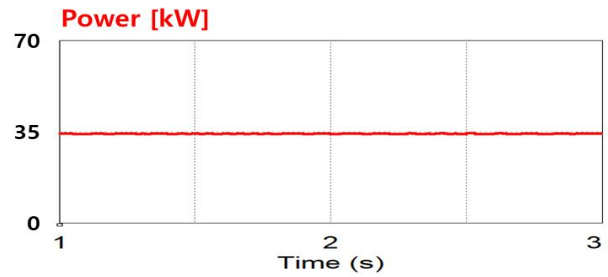
(b) Output power of Propulsion motor

Fig. 10. Simulation at maneuvering.

Fig. 11은 Sea going 상태에서 추진전동기의 속도응답특성과 출력의 결과를 나타낸다. Sea going 상태에서 추진전동기의 속도지령값은 1300[rpm]이며, 추진전동기의 속도는 안정적으로 목표값을 유지함을 알 수 있으며, 이때의 출력은 35[kW]를 유지하고 있음을 알 수 있다.



(a) Speed response of Propulsion motor



(b) Output power of Propulsion motor

Fig. 11. Simulation at sea going.

시뮬레이션에서 추진을 위한 전력은 No.1 배터리를 사용하였으며, 태양광에서 발생한 전력은 No.2 배터리에 충전하였다. 배터리 최적의 방전심도 SOC(State of Charge) 80-50%를 고려(Li et al., 2019)하여 시뮬레이션 초기에는 배터리의 과충전을 방지하기 위해 No.1 배터리의 SOC를 80%부터 방전하며, No.2 배터리는 SOC 50%에서 충전을 시작한다. 추진을 위해 사용 중인 배터리의 SOC를 지속적으로 모니터링하여 SOC 50% 이하로 감소할 경우 태양광 발전시스템으로 충전 중이던 배터리를 추진에 사용하고 추진용으로 사용하던 배터리는 다시 태양광 발전시스템으로 충전하도록 제어 알고리즘을 구성하였다.

Fig. 12는 In port, Maneuvering, Sea going 상태에서의 각각 SOC 변화량을 나타낸 것이다. 구간별 소모 전력이 다르므로 SOC가 감소하는 기울기가 변화하는 것을 확인할 수 있다.

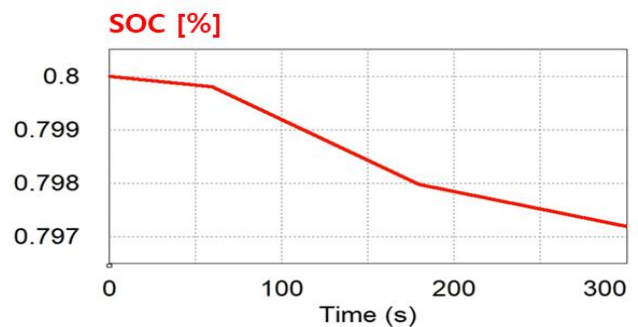


Fig. 12. Trend of SOC for No.1 Battery.

Fig. 13은 1항차 운항 시간동안 소모된 배터리 전력으로, 추진용으로 사용된 No.1 배터리의 경우 SOC 80%에서 SOC 50%로 줄어들어 약 36[kW]의 전력이 소모된 것을 확인할 수 있다. 태양광 발전으로 확보한 전력은 No.2 배터리에 충전하였으며 SOC 50%에서 65%로 증가한 것을 볼 수 있다. 충전된 전력은 18[kW]이다.

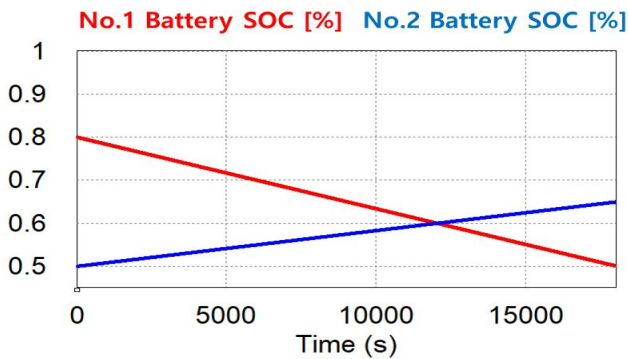


Fig. 13. Trend of Battery SOC.

위와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 배터리의 방전심도를 고려하여 최적의 배터리 사용구간인 SOC 80-50% 구간(Li et al., 2019)만을 사용하였을 때, 추가적인 전력공급 없이 배터리만으로 2회의 운항이 가능하며, 한국의 연간 평균 일조시간인 3.6시간(Park, 2013) 적용 시 36[kW]의 태양광 발전시스템을 통해 하루 평균 130[kW]의 전력을 확보할 수 있다. 이는 육상으로부터 추가적인 전력공급 없이 총 5회 운항을 할 수 있는 전력량이며, 배터리 방전심도를 고려하지 않는 경우 하루 최대 10회까지 운항할 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

환경문제 및 선박 노후화 문제를 해결하기 위한 방안으로 태양광 발전시스템이 적용된 배터리 전기추진선박의 국내 적용의 타당성을 검토하기 위해 전력전자 분석프로그램을 이용하여 시스템 모델링 하였다. 태양광 발전 시스템에서 최대전력을 확보하기 위해 P&O방식의 MPPT 제어기법을 적용하였으며, 추진 전동기에는 간접벡터제어방법을 사용하여 추진 전동기의 속도제어가 가능하도록 구성하였다.

시뮬레이션 대상 선박의 Load Profile을 바탕으로 모델링한 태양광 발전시스템이 연계된 배터리 전기추진선박의 시뮬레이션 결과 운항 구간별 선박의 속도 변화에 따른 추진 전동기의 속도응답특성 및 출력특성이 우수함을 확인하였으며, 1항차 운항시 36[kW]의 전력이 필요한 것을 확인하였다. 한국의 하루 평균 일조시간인 3.6시간임을 고려하면 태양광 발전으로 하루 평균 약 130[kW]의 전력을 확보할 수 있었으며, 122[kWh] 2개의 배터리를 탑재하였을 경우 배터리 방전심도를 고려한 최적의 배터리 사용구간에서 5회, 최대 10회까지 운항이 가능한 것으로 계산되며 선박의 실적용이 가능함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

차후, 실제 해상환경의 선박에서 발생하는 횡경사, 종경사와 같은 태양광 발전에 영향을 주는 요소들을 시뮬레이션에

반영하고, 단순한 출력을 내는 태양광 패널의 functional model이 아닌 일사량 변화와 온도 변화에 따라 출력이 변화하는 physical model을 적용하여 시간의 흐름에 따른 실제 해상환경에서의 태양광 발전 시스템을 모델링 하는 것을 향후 과제로 삼고자 한다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20173010032240)

References

- [1] Abdalrhman, A., A. Zekry, and A. Alshazly(2012), Simulation and Implementation of Grid-connected Inverters, International Journal of Computer Applications, Vol. 60, No. 4, pp. 41-49.
- [2] Atallah, A. M., A. Y. Abdelaziz, and R. S. Jumaah(2014), Implementation of perturb and observe MPPT of PV system with direct control method using buck and buck boost converters, EEIEJ, Vol. 42, Issue. 1, pp. 155-163.
- [3] Ericson T., N. Hingorani, and Y. Khersonsky(2006), Power electronics and future marine electrical systems, IEEE Trans, Vol. 42, Issue 1, pp. 155-163.
- [4] Febriyandi, I., F. D. Wijaya, and E. Firemansyah(2014), DC-DC converter as power supply of battery charger 100 V 300 W using 25 kHz switching frequency, 2014 ICEECS, pp. 302-307.
- [5] Foster, R., M. Ghassemi, and A. Cota(2009), Solar Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press, pp. 295-306.
- [6] Kim, S. H.(2017), Motor Control 2nd edition, D.B.Info, pp. 144-198.
- [7] Kim, Y. R., H. J. Cha, B. M. Song, and K. Y. Lee(2012), Design and Control of a Grid-Connected Three-Phase 3-level NPC Inverter for Building Integrated Photovoltaic System, IEEE, DOI:10.1109/ISGT.2012.6175663.
- [8] Koumentakos, A. G.(2019), Developments in Electric and Green Marine Ships, MDPI, Volume 2, Issue 4.
- [9] Lee, D. K., Y. K. Jeong, J. G. Shin, and D. K. Oh(2014), Optimized Design of Electric Propulsion System for Small Crafts using the Differential Evolution Algorithm, IJPEM-GT, Vol. 1, No. 3, pp. 229-240.
- [10] Li, Y., K. Liu, A. M. Foley, A. Zulke, M. Berecibar, E.

- Nanini-Maury, J. V. Mierlo, and H. E. Hoster(2019), Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review, ELSEVIER, Volume 113, DOI:10.1016/j.rser.2019.109254.
- [11] Motahhir, S., A. Hammoumi, and A. Ghzizal(2018), Photovoltaic system with quantitative comparative between an improved MPPT and existing INC and P&O methods under fast varying of solar irradiation, Energy Reports, Vol. 4, pp. 341-350.
- [12] Park, C. G.(2013), Major Issues in the Korean PV Industry and Map of Supply and Demand, Available online: <http://sanhakdb.pusan.ac.kr/ko/technology/analysis/?i=181>.
- [13] Patel, P. and S. Shah(2016), Design and Development of Solar Photovoltaic Inverter Using PSIM Software, International Journal For Technological Research In Engineering, Vol. 4, Issue 3, pp. 485-489.
- [14] Uddin, M. H., M. A. Baig, and M. A. Memon(2018), Comparison of 'Perturb & Observe' and 'Incremental Conductance' Maximum Power Point Tracking algorithm on real environmental conditions, ICE cube.
- [15] Wan, Z., M. Zhu, S. Chen, and D. Sperling(2016), Pollution: Three steps to a green shipping industry, Nature, Volume 530, Issue 7590, pp. 275-277.
- [16] Wu, B.(2006), High-Power Converter and AC Drives, Second Edition, WILEY, pp. 227-256.

Received : 2019. 10. 21.

Revised : 2019. 12. 12.

Accepted : 2019. 12. 27.