

선박 연료전지-ESS 하이브리드 규칙 기반 전략에 관한 연구

이현섭[†]

(Received August 29, 2019 ; Revised September 18, 2019 ; Accepted October 8, 2019)

Study on a rule-based strategy for a fuel cell-engine generator-ESS marine hybrid system

Hyeon-Seop Yi[†]

요약: 지구 온난화 현상에 대비하기 위하여 국제기구들이 노력하고 있다. 특히 국제 해사 기구는 선박의 배기 가스 배출량을 제한하고 있다. 이에 따라 전기 추진선 개발이 조선 산업에 있어서 화두로 떠오르고 있고 연료전지와 배터리(ESS : Energy Storage System)와 같은 전기 동력원이 선박의 동력원으로 적용되고 있다. 이번 논문에서는 소형 선박에 적용될 수 있는 연료전지-엔진발전기-배터리 하이브리드 동력원의 규칙 기반 전략을 적용한 시뮬레이션에 관한 내용을 다루었다. 규칙 기반 전략은 기존의 차량 하이브리드 동력원에 적용되는 동력분배 전략으로서 차량의 속도, 요구동력, ESS의 잔량 등이 고려된다. 소형 선박에 맞는 규칙 기반 전략을 적용함으로써 향후 전체 선박을 대상으로 하이브리드 운전 전략이 적용될 수 있는 가능성을 알아보고자 한다.

주제어: 연료전지, 엔진발전기, 에너지저장장치(ESS), 하이브리드, 규칙 기반 전략

Abstract: International organizations are currently preparing for global warming. In particular, the International Maritime Organization has set limits on ship emissions of materials having a high global warming potential. Accordingly, the development of electric propulsion ships has emerged as a hot topic in the shipbuilding industry, and electric power sources such as fuel cells and batteries are being used in ships. This study conducts a simulation based on a rule-based strategy of a fuel cell-engine generator-battery hybrid power source that can be applied to a small ship. Specifically, a power distribution strategy is applied to an existing hybrid vehicle power source while considering the speed of the vehicle, the required power, and the amount of energy remaining in the energy storage system, particularly in batteries. By applying a rule-based strategy for a small ship, we examined the possibility that hybrid driving strategies could be applied to entire ships.

Keywords: Fuel cell, Engine-generator, Energy storage system (ESS), Hybrid, Rule-based strategy

1. 서 론

국제해사기구(IMO)에서는 올해 1월부터 회원국 전체 항만을 입·출항하는 선박에 온실가스 감축을 위한 리포트 제출을 강제하는 'IMO-DCS(Data Collecting System)' 규제를 시행하고 있다. IMO는 내년부터 선박용 중유의 황함량 기준을 현행 3.5%에서 0.5%로 강화할 예정이다[1].

또한 2025년 이후에 건조되는 모든 선박은 2014년에 건조된 선박보다 에너지 효율성도 30% 향상시킬 전망이다. 이에 따라 IMO는 국제해상운송 부문에서 단위물동량당 이산화탄소 배출을 2030년까지 2008년 배출량 대비 최소 40% 줄이고 2050년까지는 70% 감축한다는 목표를 세워놓고 있다. 국제해운 부문의 이산화탄소 발생량은 2012년 기준 7억 9600만 톤으로서 전 세계 이산화탄소 배출량의 2.2%를 차지한다. 전 세계 여객선 승객 1명이 1km 운항 시

배출하는 이산화탄소는 약 0.12kg으로서 자동차와 비교 시 절반밖에 되지 않는다. 하지만 아무런 감축 노력도 하지 않을 경우 해운업에서의 온실가스 배출량은 2050년까지 2012년 대비 최소 50%에서 최대 250%까지 증가할 것으로 전망된다. 선박이 이전보다 더 멀리, 그리고 더 자주 이동하면서 더 많은 연료를 소모하게 될 것이기 때문이다. 국제해사기구의 이 같은 규제에 의해 대기오염 및 이산화탄소의 배출량을 획기적으로 줄이는 친환경 선박이 잇달아 개발되고 있어 주목을 끈다. 가장 활발한 움직임을 보이고 있는 곳은 수많은 여객선을 운영하고 있으면서도 환경적으로 진보적인 정부가 있는 유럽이다. 유럽연합(EU)은 유럽 전역의 섬 및 연안지대, 내륙 수로에 대해 에너지가 효율적이고 온실가스 배출 없이 항해할 수 있는 100% 전기 추진 여객선 개발 프로젝트인 '이-페리(e-ferry)'를 2015년

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6296-1646>): Senior Researcher, Advanced Propulsion System Department, Korea Shipbuilding Offshore Engineering, 55, Bundang-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13591, Korea, E-mail: lhs840@snu.ac.kr, Tel: 031-701-2749

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

부터 추진 중이다.

유럽의 연구 및 혁신 프로그램인 ‘호라이즌 2020’에 따라 유럽공동체(EC)가 기금을 지원하는 이 프로젝트의 목표는 내년까지 10척의 전기추진 여객선을 운영하고 2030년까지 100척의 전기추진 여객선을 운영해 총 10~30만 톤의 이산화탄소 배출량을 감축하는 것이다. 이-페리 프로젝트의 주요 파트너 중 하나로 참여하는 스위스의 에너지 저장 솔루션 공급업체 르클랑세는 최근에 한 번 충전으로 최대 40km를 항해할 수 있는 모듈식 리튬 이온 배터리 시스템을 개발해 주목을 끌었다[2].

이와 함께 독일에서는 FellowSHIP 프로젝트를 통해 수소 연료전지 선박의 7000시간 운항 기술 실증을 실시했고 노르웨이에서는 2021년에 수소 연료전지와 배터리를 동시 탑재한 하이브리드 페리를 운행할 예정이다.

미국에서는 2015년에 처음으로 액화수소 연료전지를 이용하는 선박을 건조했다. 현재는 물로 생성된 수소만 활용하는 수소 연료전지를 이용하는 고속 페리 상용화를 추진 중이고 올해 중순에는 수소 연료전지 여객선인 Water-Go-Round 호가 샌프란시스코 만에서 첫 항해에 나설 예정이다[3].

국내에는 중소조선사들이 50인승 규모의 레저선에 연료전지 시스템을 탑재한 친환경 선박을 양산하였다. 2018년 부산광역시에서 선진국들과의 기술격차를 타개하기 위한 수소선박추진단이 발족이 되었고 울산광역시에서는 수소 도시 비전 선포식을 열며 현대중공업과 함께 초대형 연료전지가 장착된 선박을 제작하겠다는 목표를 세웠다. 이처럼 국내외에 수소 연료전지가 적용되는 선박의 제작이 늘어나고 있고 특히 고체산화물 연료전지는 연료전지 중에서도 효율이 높고 기존의 화석 연료를 개질해서 쓸 수 있다는 점, 대용량 발전이 가능하다는 점에서 선박용으로 각광받고 있다[4].

이번 논문에서는 소형 선박을 염두해 둔 엔진발전기, 연료전지, ESS 하이브리드 동력원의 규칙 기반 전략을 시뮬레이션을 통해 연구하여 그 적용 가능성을 살펴보았다. 규칙 기반 전략은 엔진과 배터리로 이루어진 하이브리드 차량의 실제 운전에도 도입되는 전략으로 향후 양산되는 선박 하이브리드의 운전 전략에 도입될 것으로 예상되는 전략이다. 본 시뮬레이션에서는 200kW급 소형 디젤 엔진 선박의 동력 프로파일을 활용하여 진행하였으며 향후 전체 선박에서도 활용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

2. 선박 하이브리드 시뮬레이션

2.1 하이브리드 시뮬레이션

선박 하이브리드 동력원의 요구동력 시뮬레이션을 수행하기 위해 아래 Figure 1과 같이 시뮬레이터를 구성하였다. 동력원은 엔진발전기와 연료전지, 그리고 배터리로 구성되어 있고 세 동력원이 시뮬레이터 상의 프로펠러에 할당되

는 선박 전체 요구 동력을 각각 담당하게 된다. 동력 분배 방식은 규칙 기반 전략에 의해 행해지며 Control&Monitor 모듈에 저장되어 있다. 이 모듈은 시뮬레이터의 규칙 기반 전략과 시뮬레이션 결과를 보여준다.

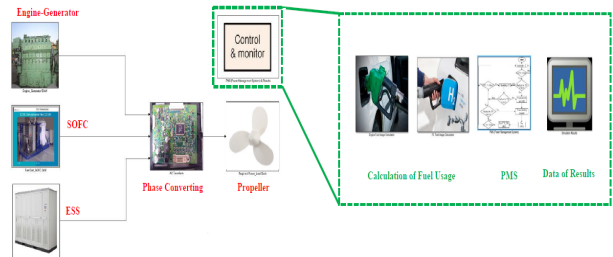


Figure 1: Simulation of Engine-Fuel Cell-ESS Hybrid System

프로펠러 요구 동력이 규칙 기반 전략에 의해 분배되면 각 동력원의 운전 상태가 결정되며 아래와 같이 식 (1)로 표현될 수 있다.

$$E_P = E_{fc,p} + E_{ess} + E_{gm} \quad (1)$$

여기서 E_P 은 프로펠러 요구 동력이고 $E_{fc,p}$ 는 연료전지 스택¹⁾의 순출력, E_{ess} 는 배터리의 출력이며 E_{gm} 은 엔진발전기의 출력이 된다.

2.2 엔진발전기

엔진 발전기는 엔진과 발전기를 주요 구성 요소로 하는 단일 장비를 말한다. 대개는 동력을 제공하는 엔진을 생각하고 발전기라고만 불린다. 엔진 발전기는 엔진과 발전기 외에 연료 공급 장치, 조속기, 전압 조정기, 냉각 및 배기 체계, 윤활 체계 등을 포함한다. 출력 1 kW 가량의 대출력 장비는 축전지와 시동 전동기가 장착되기도 하며, 그보다도 규모가 큰 경우 엔진 시동에 압축 공기를 이용하기도 한다[5]. 이번 시뮬레이션에 적용되는 엔진발전기는 최대 출력 77kW에 운전 영역은 고정으로 1400rpm 이고 운전 영역은 최적 연료 효율 영역으로서 50~60%이다.

2.3 고체산화물 연료전지

기본적으로 연료전지는 수소 등의 연료와 공기를 반응시켜 전력을 생산하는 구조를 가지고 있으며 환경 친화적이고 효율적인 발전 장치이다. 사용하는 재료에 따라 다양한 방식의 연료전지가 개발되고 있으며 가장 높은 에너지 변환 효율을 나타내는 것이 고체 산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)이다. 산화 지르코늄(ZrO_2)이나 세리아(CeO_2) 등의 고체 산화물을 전해질로 이용하는 연료전지로 전해질 내에서 산화 이온이 전도하기 때문에 수소 뿐만 아니라 메탄이나 부탄 등의 탄화수소에서도 공기 중의 산

1) Stack (스택) : 연료전지에서 전기를 발생하는 핵심적인 장치로 전극과 전해질, 촉매로 구성되는 셀의 집합체이다.

소와 전기 화학 반응시켜 발전할 수 있다. 작동 온도는 700~1000℃의 고온으로 대형 발전설비 및 가정용 발전으로 용도가 한정되어 있다[6]. Figure 2는 고체산화물 연료전지의 스택 순출력 대비 시스템 효율을 나타낸 것이다. 여기서 표시된 데이터들이 시뮬레이션에서 동력분배에 활용된다. 스택은 연료전지 시스템에서 전기 에너지가 생성되는 부품이며 여기서 나오는 전력은 BOP²⁾와 추진에 쓰이는 것으로 나누어진다. BOP에 사용되는 스택 전력은 15% 내외이고 총 출력은 3kW이다. BOP 전력을 반영하면 스택 정격 순출력은 2kW, 효율은 48% 부근이다.

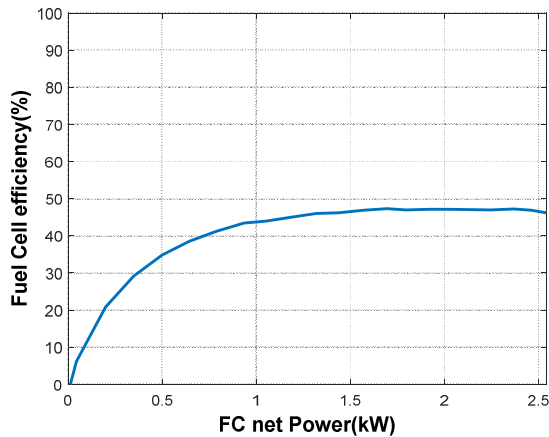


Figure 2: Efficiency-Power Curve of SOFC

2.4 에너지저장장치

에너지저장장치는 전력 수요가 적은 경우 전력을 저장하고 소비가 많은 시간에는 저장된 전력을 사용하도록 함으로써 신재생에너지의 불규칙한 전력을 안정화시켜주는 장치이다. 이를 통해 전기 에너지의 효율성이 향상되고 전력 계통의 안전성은 높여 송전 능력이 제한되는 것을 최소화하도록 하여 신재생에너지의 활용도를 높여주는 장치이다.

에너지저장장치의 구성요소는 배터리, 전력변환장치, BMS(Battery Management System)이고 하이브리드인 경우 EMS(Energy Management System)가 추가된다. 시뮬레이션에서 활용된 에너지저장장치는 100kWh 리튬-이온 배터리로, 방전 과정에서 리튬 이온이 음극에서 양극으로 이동하는 전지이다. 크게 양극, 음극, 전해질의 세 부분으로 나눌 수 있는데, 다양한 종류의 물질들이 이용될 수 있다. 상업적으로 가장 많이 이용되는 음극 재질은 흑연이다. 양극에는 층상의 리튬코발트산화물(lithium cobalt oxide)과 같은 산화물, 인산철리튬(lithium iron phosphate, LiFePO4)과 같은 폴리음이온, 리튬망간 산화물, 스피넬 등이 쓰인다[7]. 아래 Figure 3는 시뮬레이션의 배터리 제원을 표시하였다.

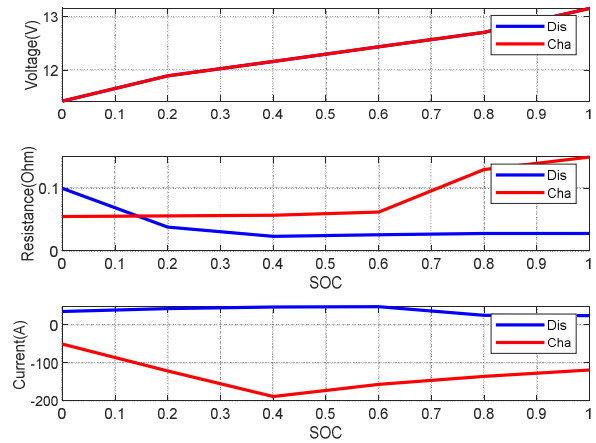


Figure 3: Voltage, Resistance, Current based on ESS SOC

위 제원을 활용하여 시뮬레이션 중에는 ESS SOC를 지속적으로 계산할 필요가 있으며 그 수식은 아래와 같다.

$$E_{ess} = V_{bat}(soc_{bat})I_{bat} - R_{bat}(soc_{bat})I_{bat}^2 \quad (2)$$

$$\Delta soc_{bat} = I_{bat} \Delta t \quad (3)$$

$$soc_{bat} = -\frac{V_{bat}(soc_{bat}) - \sqrt{V_{bat}(soc_{bat})^2 - 4R_{bat}(soc_{bat})E_{ess}}}{2Q_{bat}R_{bat}(soc_{bat})} \quad (4)$$

식 (2), 식 (3), 식 (4)는 배터리의 1차 내부 등가 회로를 기반으로 작성되었으며 V_{bat} 은 배터리의 전압, R_{bat} 은 배터리의 저항, I_{bat} 은 배터리의 전류, soc_{bat} 은 ESS SOC, Q_{bat} 는 배터리 전기 용량을 의미하며 t는 시뮬레이션 단위 시간을 의미한다. 즉, SOC 변화량을 등가 회로와 제원 등을 활용하여 구한 다음 이전 단위 시간의 SOC와 더해주는 방식으로 ESS SOC를 계산하게 된다[8].

2.5 규칙기반전략

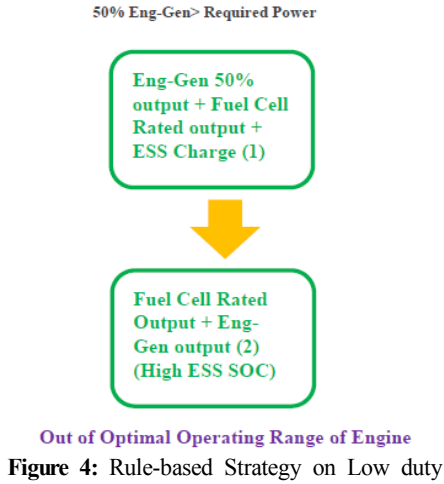
규칙기반전략은 기본적으로 엔진-배터리로 이루어진 하이브리드 차량에 적용된 동력분배 전략이다. 이번 논문에서는 선박 하이브리드에 적용함으로써 그 실현 가능성을 알아보려고 한다. 제안된 하이브리드 전략은 크게 3가지로 나누어지며 그 기준은 엔진발전기의 토크 범위로 한다. 즉, 프로펠러의 요구 동력을 엔진발전기 최적 효율 영역의 동력과 비교하여 프로펠러의 요구 동력이 더 크면 고부하, 최적 영역 안에 존재하면 중부하, 더 적으면 저부하로 운전 전략을 나누게 된다. 각각의 전략은 번호를 부여하여 시뮬레이션의 운전 모드 변화를 확인할 수 있게 한다[9].

2.5.1 저부하

프로펠러의 요구 동력이 엔진 최적 효율 영역보다 적으면 엔진발전기 50% 출력과 연료전지 효율이 최대인 정격 출력으로 운전을 하고 남은 에너지는 ESS를 충전하는데 사용된

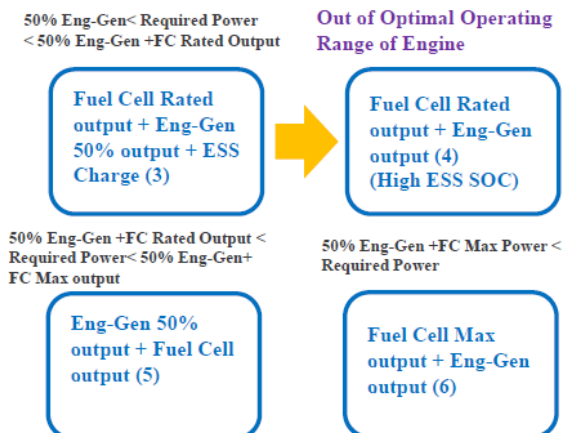
²⁾ BOP (Balance of Plant) : 주변 기기를 의미하는 것으로 연료전지 시스템에서는 공기 및 연료 공급 장치, 냉각 장치 등을 의미한다.

다. 다만, ESS SOC가 높아 충전이 가능하지 않다면 연료전지를 정격으로 운전하고 나머지 출력은 엔진발전기가 담당한다. 여기서 엔진의 운전점은 효율 최적 영역을 이탈하게 된다. **Figure 4**는 저부하 시 동력분배 전략을 도식화한 것이다.



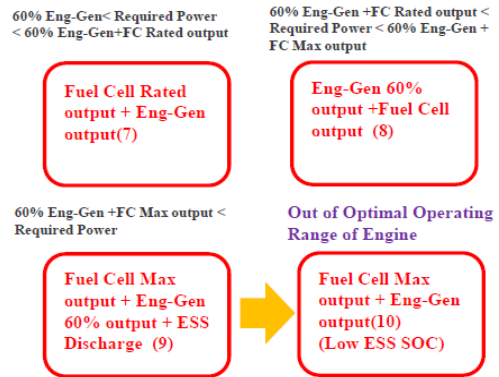
2.5.2 중부하

프로펠러의 요구 동력이 엔진 최적 효율 영역에 있다면 중부하 전략을 활용한다. 이 때 연료전지의 정격 출력과 최대 출력에 따라 다시 전략이 나누어진다. 요구 동력이 50% 엔진 출력과 그 출력의 연료전지 정격 출력을 더한 출력 사이에 있다면 연료전지 정격 출력과 엔진발전기 50% 출력으로 동력을 분배하고 남은 에너지는 ESS를 충전한다. SOC가 충분하다면 연료전지와 엔진발전기만으로 요구 동력을 감당한다. 그리고 50% 엔진 출력과 연료전지 정격 출력, 50% 엔진 출력과 연료전지 최대 출력 사이에 요구 동력이 존재한다면 엔진발전기로 50% 출력을 담당하고 나머지 출력은 연료전지가 담당한다. 요구동력이 연료전지 최대 출력과 50% 엔진 출력의 합보다 크면 연료전지는 최대 출력, 엔진발전기가 나머지 출력을 담당한다. **Figure 5**는 중부하 시 동력분배 전략을 도식화한 것이다.



2.5.3 고부하

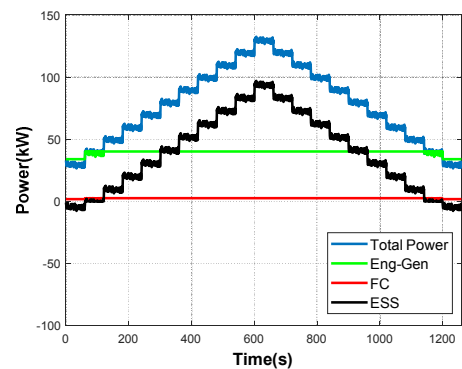
중부하 전략과 마찬가지로 연료전지 정격 출력과 최대 출력에 따라 다시 전략이 나누어진다. 60% 엔진 출력과 그 출력에 연료전지 정격출력을 더한 출력 사이에 요구 동력이 존재한다면 연료전지가 정격 출력, 엔진발전기가 나머지 출력을 담당한다. 요구동력이 연료전지 정격 출력과 60% 엔진 출력의 합, 연료전지 최대 출력과 60% 엔진 출력의 합 사이에 있다면 엔진발전기 60% 출력, 연료전지가 나머지 출력을 담당한다. 요구 동력이 60% 엔진 출력과 그 출력에서 연료전지 최대 출력을 더한 출력보다 요구 동력이 작다면 연료전지 최대 출력과 엔진발전기 60% 출력으로 동력을 분배하고 남은 에너지는 ESS가 방전으로 감당한다. SOC가 충분하지 않다면 연료전지 최대 출력과 엔진발전기만으로 요구 동력을 감당한다. **Figure 6**은 고부하 시 동력분배 전략을 도식화한 것이다.



3. 시뮬레이션 결과

3.1 동력 분배 결과

시뮬레이션 결과 연료전지와 ESS, 엔진발전기의 동력분배를 확인하였다. **Figure 7**은 세 가지 동력원의 출력을 선박 전체 요구 동력인 프로펠러 요구 동력과 함께 표시한 것으로 엔진발전기와 연료전지는 특정 출력을 유지하려고 하며 ESS는 가변적으로 남은 요구 동력을 담당한다.



3.2 운전 모드 결과

운전 모드는 앞에서 언급한 규칙기반 전략에 번호로 표시되어 있다. 총 10가지가 있으며 이 중에 엔진 운전점이 최적 효율 영역을 이탈하는 2, 4, 10번을 제외하고 시뮬레이션 결과에 나타나는 것을 확인하였다. Figure 8은 시뮬레이션 시간에 따른 운전 모드의 변화를 나타낸다.

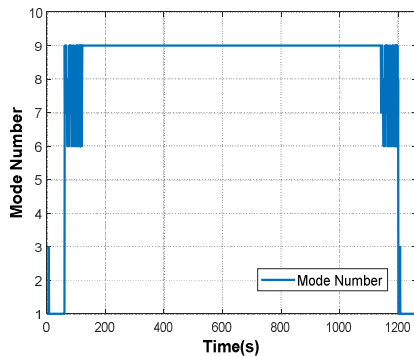


Figure 8: Change of Operating Modes

3.4 ESS SOC 결과

Figure 9는 ESS SOC 변화를 나타낸 것으로 시뮬레이션 처음과 끝은 충전을 하고 나머지는 대체로 방전을 하는 것으로 나타났다. 이것은 총 요구동력이 저부하일 때 ESS가 충전을 하는 운전 전략이 적용되었고 총 요구동력이 증가할수록 ESS 방전하는 운전 전략이 적용되었기 때문이다.

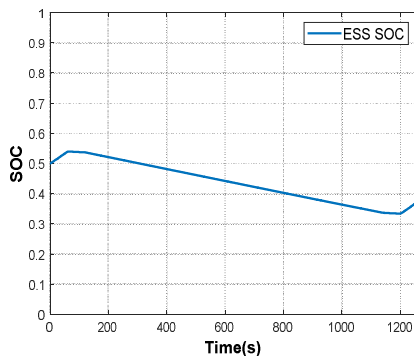


Figure 9: Change of Operating Modes

3.3 배터리 제원 변화 결과

Figure 10은 배터리 제원 변화를 나타낸 것으로 시뮬레이션 시간에 따른 전압과 내부저항, 전류 변화를 나타낸다. ESS SOC에 따른 제원 값을 시뮬레이션의 SOC 변화에 따라 나타난 결과이다. ESS의 SOC가 증가하면 전압은 증가하게 되며 반대의 경우 전압은 감소한다. 내부 저항은 충전 시에는 증가하다가 방전 시에는 감소하는 것으로 나타났다. 시간에 따른 전류값의 변화를 봐도 배터리의 충방전 여부를 알 수 있다. 전류가 0보다 작으면 충전 상태이며 SOC

가 증가하는 구간이다. 반대로 0보다 크게 되면 방전 상태이며 SOC가 감소하는 구간이다. 이렇게 전압, 내부저항, 전류의 상태를 보고 ESS SOC의 증감을 파악할 수가 있다.

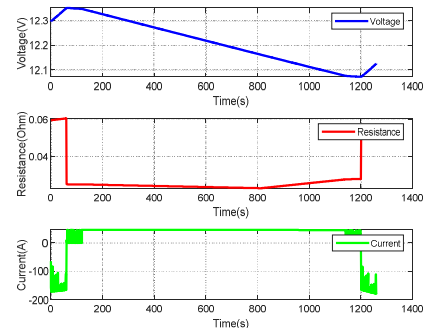


Figure 10: Change of Voltage, Resistance and Current

3.4 운전 영역 결과

시뮬레이션의 엔진발전기와 연료전지에서 운전점을 성능 곡선과 함께 표시할 수 있고 그 결과는 아래와 같다.

3.4.1 엔진발전기

엔진 운전점을 분석한 결과 대부분의 운전점이 엔진의 최적 연료 효율 영역인 1400rpm, 50~60% 엔진 출력 영역에 위치해 있는 것으로 나타났다. 이는 앞서 소개한 운전 전략이 엔진의 운전점을 최적 영역에 가급적 위치하도록 설정되었기 때문이다. 운전 전략에서 저부하 시 ESS의 SOC가 높은 경우, 고부하시 ESS의 SOC가 낮은 경우에는 엔진 운전점이 최적 영역을 이탈할 수 밖에 없다. 그 이유는 저부하 시 엔진발전기의 남은 전력을 ESS 충전에 사용해야 하는데 ESS SOC가 높게 되면 충전에 사용하지 못하기 때문이다. 이럴 경우에는 엔진발전기 출력 자체가 낮아져야 한다. 그리고 고부하시에는 반대로 ESS SOC가 낮게 되면 ESS가 방전을 하지 못하고 엔진발전기 출력이 최적 효율 영역을 초과하게 되는 정도로 커져야 한다. 시뮬레이션에서는 그와 같은 예외적인 경우가 적용되지 않았고 Figure 11은 엔진의 성능 곡선과 운전점 변화를 최적 효율 영역 안에서 나타내게 된 것이다.

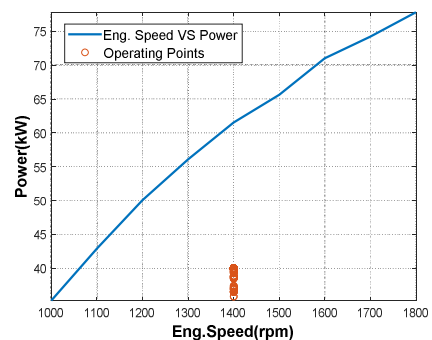


Figure 11: Operating Points of the Engine-Generator

3.4.2 연료전지

대부분의 운전점이 연료전지의 정격 출력과 최대 출력 사이에 존재하는 것으로 나타났고 이는 두 출력이 엔진과 마찬가지로 운전전략에 고려되었기 때문이다. 대부분의 고온형 연료전지는 보통 기저부하로 일정하게 운전을 하게 되는데 시뮬레이션 상의 고체산화물 연료전지는 효율이 제일 높게 나타나는 1.7kW에서 최대출력인 2.5kW 부근까지의 영역을 기저부하 영역으로 운전한다. Figure 12는 연료전지의 성능 곡선과 운전점 변화를 함께 나타낸 것이다.

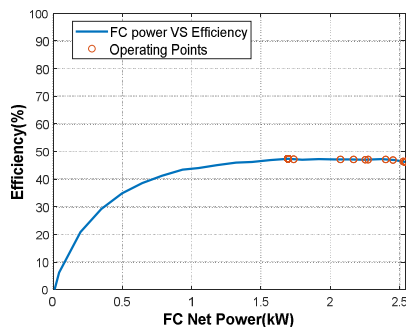


Figure 12: Operating Points of the SOFC

이처럼 하이브리드 운전 시에도 엔진이나 연료전지 단독 운전 때와 마찬가지로 각각의 최적 운전 영역에서 동시에 작동될 수 있다는 점은 향후 규칙기반 전략이 선박 하이브리드 시스템에도 적용될 수 있다는 것을 의미한다[10]. 하이브리드는 기본적으로 효율을 이슈로 삼는 엔진이나 연료전지 동력원, SOC의 유지를 이슈로 삼는 배터리, 슈퍼 커패시터 등 ESS의 상호 보완을 통해서 운전 전략이 설정된다. 본 논문의 엔진-연료전지-ESS 하이브리드의 경우 상호 보완을 통한 엔진과 연료전지 운전점의 최적 효율 분포, ESS SOC 유지 가능한 시뮬레이션 결과를 얻었고 이런 점에서 향후 선박의 운전 전략이 실제로 가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

4. 결 론

최근 선박에 대한 배기 규제가 강화되고 있고 이에 따라 전기 추진선 개발이 산업계의 주요 이슈가 되어 가고 있다. 최근 엔진 또는 연료전지를 적용한 하이브리드 추진선이 개발되고 있고 이것은 100% 전기 추진선이 개발되는 데에 있어서 과도기적인 개념이다. 차량과 마찬가지로 선박에서도 하이브리드 동력 시스템은 동력 분배 전략이 주요 이슈가 된다. 운전 전략에 따라 동력원의 운전점과 운전 효율이 달라질 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 200kW 소형 엔진 선박의 하이브리드 추진선 개발에 따른 규칙기반전략 시뮬레이션을 시행하였다. 동력원은 크게 세 가지로 디젤엔진 발전기, 고체산화물 연료전지, ESS 리튬이온 배터리이다. 규칙기반전략은 선박의 총 요구 동력과 에너지저장장치의

충전 정도 등의 변수로 나누어져 있고 엔진 동력과 비교하여 크게 세 가지로 나누어져 있다. 디젤 엔진 선박의 요구 동력으로 시뮬레이션 상의 선박 프로펠러에 엔진 선박의 요구동력 프로파일을 입력하였으며 본론에 설명된 규칙기반전략에 따라 동력이 분배되었다. 시뮬레이션 결과 엔진과 연료전지의 운전점이 각각 최적 효율 영역에 분포하는 것이 확인되었고 이는 곧 제안된 규칙기반전략이 선박 전체에 적용될 수 있는 것을 의미한다. 이를 바탕으로 보완된 운전전략이 선박에 적용될 수 있으며 향후에 실제적인 연구개발이 이루어질 것이다.

Author Contributions

The research presented in this paper was wholly contributed by the author.

References

- [1] T. H. Song, H. S. Yang, Y. S. Kim, and S. G. Lee "A study on battery characteristics for electrical propulsion vessels according to charging current and harmonic discharging load," Journal of the Korea Society of Marine Engineering, vol. 43, no. 2, pp. 114-119, 2019.
- [2] The Science Times, <https://www.sciencetimes.co.kr/?news>, Accessed August 28, 2019.
- [3] M. Shemer and K. H. Park "Analytical study of effects of transportation and industrial growth on Kuwait air pollution," Journal of the Korea Society of Marine Engineering, vol. 42, no. 8, pp. 647-652, 2018.
- [4] Emerson Automation Solutions, <http://emersonkoreablog.com/221528728158>, Accessed August 28, 2019.
- [5] Korea Wikipedia, <https://ko.wikipedia.org/wiki/>, Accessed August 28, 2019.
- [6] Tistory, <https://toparadic.tistory.com/870>, Accessed August 28, 2019.
- [7] H. Y. Lee, J. R. Jeong, Y. I. Park, and S. W. Cha "Energy management strategy of hybrid electric vehicle using battery state of charge trajectory information," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, vol. 4, no. 1, pp. 79-86, 2017.
- [8] H. S. Yi, J. B. Jeong, S. W. Cha, and C. H. Zheng, "Optimal component sizing of fuel cell-battery excavator based on workload," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, vol. 5, no. 1, pp. 103-110, 2018.
- [9] H. S. Lee, J. S. Kim, Y. I. Park, and S. W. Cha, "Rule-based energy management strategies for hybrid

vehicles,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, vol. 3, no. 3, pp. 231-237, 2016.

- [10] J. R. Jeong, D. H. Lee, C. W. Shin, D. B. Jeong, and K. D. Min, “Comparison of the fuel economy of series and parallel hybrid bus system using dynamic programming,” Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 21, no. 1, pp. 92-987, 2013 (in Korean).