

## 수소연료전지선박 개요 및 기술개발 동향 소개

이제명, 김정현, 김슬기, 김태욱, 김명성  
(부산대학교)

### 1. 서론

선박은 통상적으로 벙커유와 MDO(Marine Diesel Oil)를 사용하여 운항에 필요한 동력을 생성하거나 정박 중 필요한 전기를 생산한다. 하지만 이들 연료는 연소 단계에서 발암물질이 포함된 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 배출하여 항만 인근지역의 대기오염을 가중시키고 국민건강에 심각한 피해를 끼치는 것으로 조사되었다. 그림 1은 선박 운항 시 발생하는 대기오염물질을 나타낸 것이다. 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)가 발표한 자료에 의하면 전 세계 황산화물 발생량의 약 13%, 질소산화물 발생량의 약 12%, 이산화탄소 발생량의 약 3%가 선박에 의해 발생한다고 한다.

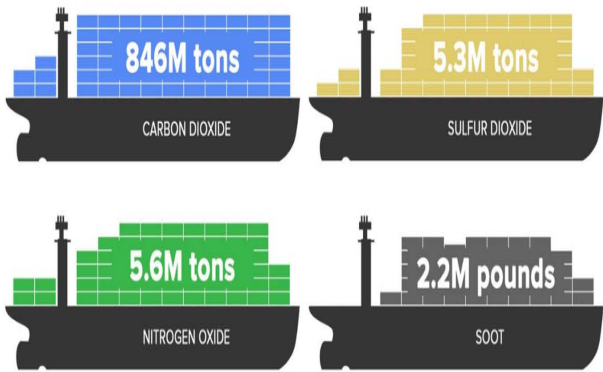


그림 1 선박 운항 시 발생하는 대기오염물질

또한, 약 5,000여명을 수용하는 초대형 크루즈선(Harmony of Seas호)은 시간당 약 10,000 L 연료를 소모하며 시간당 약 10 L를 소모하는 디젤 차량과 비교했을 때 산술적으로 약 1,000배 정도의 오염물질을 배출할 수 있다고 볼 수 있으며, 선박 연료유의 높은 황 함유량을 고려하면 대형 크루즈선 한 척이 배출하는 오염물질은 디젤 차량 수백만 대가 내뿜는 오염물질과 같다고 할 수 있다. 최근 문제가 되고 있는 초미세 먼지 역시 선박에서 직접 배출되는 황·질소산화물들과 대기 중 화학반응에 의해서도 상당량 생성되므로 대기오염 문제 해결을 위해 선박에서 사용되는 연료의 정화 혹은 기존 연료를

대체할 수 있는 친환경연료 사용이 필요한 시점이다.

에너지 탈탄소화란 석탄, 석유, 천연가스 순으로 주 에너지원의 단위 질량당 탄소량이 줄어드는 것을 의미하며, 분자 내 탄소를 포함하지 않은 수소가 주 에너지원이 된다면 진정한 의미의 탈탄소화가 달성될 수 있다. 수소는 지구상에 가장 많이 존재하는 자원으로, 물 또는 재생에너지로부터 수소를 생산할 수 있고 기존 화석연료와 달리 연소과정에서 열과 물만 생성하므로 연소 시 대기오염물질이 배출되지 않는 가장 깨끗한 에너지원이다. 일본은 전체 에너지 믹스에서 수소에너지가 차지하는 비율이 2025년에는 8%, 2035년에는 20%인데 반해 2050년에는 40% 정도로 증가할 것으로 전망하였다 (그림 2).

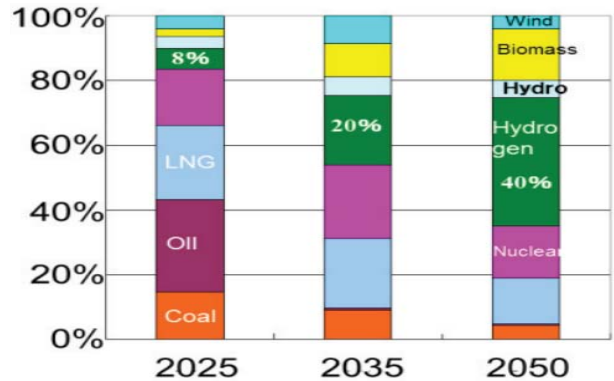


그림 2 에너지원별 공급 예상량

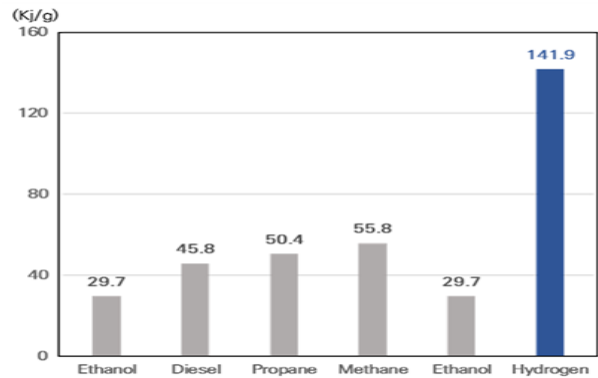


그림 3 단위무게당 에너지원의 에너지 효율

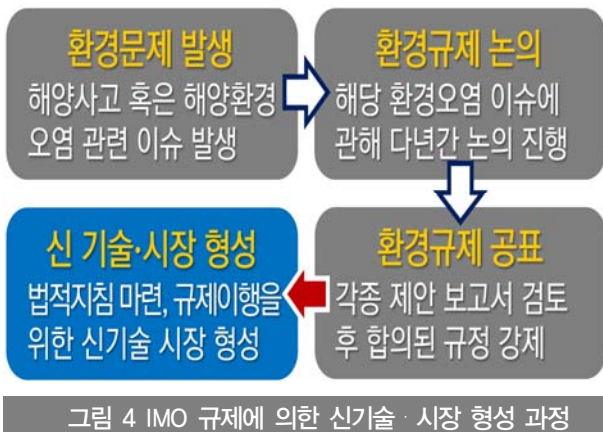
그림 3은 단위무게당 에너지원의 효율을 비교한 그래프로 친환경 연료 수소는 디젤, 프로판, 메탄, 에탄올 등 경쟁 에너지 자원들과 비교하였을 때 단위무게당 에너지효율이 높은 장점을 가지고 있다. 수소를 액화한 액화수소의 경우 800배의 저장밀도와 함께 수소저장용기 공간도 적어 에너지 저장매체로도 뛰어난 효율을 갖고 있어, 미래 에너지원으로 충분한 경쟁력을 갖추고 있다.

환경을 중시하는 기술선진국은 2010년 이전부터 수소연료전지선박 기술개발 및 선박실증에 관한 연구를 시작하였고, 이미 우리나라와는 약 10여년의 기술격차를 보이고 있는 것으로 판단된다. 친환경 수소연료전지선박 기술은 미래 핵심기술로 분류되어 국제적으로 배타적 경쟁 상태에 놓여있으므로, 미래 수소선박 시장 성장에 대비하기 위해서는 국내 친환경 수소연료전지선박 개발이 필요한 상황이다.

본 기고에서는 이러한 수소연료선박을 등장시킨 IMO의 온실가스 배출 규제에 대해 살펴보고, 수소연료선박 개요 및 국내외 기술개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

## 2. IMO의 GHG 규제

### 2.1 IMO 규제로 인한 新 시장형성 사례



국제연합(UN, United Nation) 산하 전문기구인 IMO는 해상에서의 인명 손실과 환경적 재난 및 막대한 재산 손실을 야기할 수 있는 해양사고 방지를 목적으로 해상안전과 선박설계에 관한 국제적 기준을 제정하고 그 이행여부를 감독하는 국제기구이다. IMO 협약은 국가별 대표로 구성된 전문위원 논의 결과로 발생하는 결과물로서 조선해양산업에 법적 구속력이 존재하는 동시에 새로운 기술시장이 형성되기도 한다.

대표적으로 이중선체 규정에 관한 사례를 들 수 있다. 1989년 알래스카에서 발생한 선박 좌초로 역대 최악의 기름유출 사고가 발생했고, IMO는 해양환경보호를 위해 단일선체 유조선을 퇴출시킨다는 규제안을 추진했다. IMO는 2005년 단일선체 유조선의 강제 퇴출규정을 시행했고, 2010년 이후 신조 유조선에 이중선체를 의무적으로 도입하도록 공표했다. 그 결과 당시 현존 탱커선 5천여척이 전량 이중선체로 교체되고 선박 건조, 기자재 관련 신시장이 형성되는 등의 변화가 일어났다.

또 다른 사례는 선박 황산화물 및 질소산화물 규제이다. 선박 연료로 사용되는 벙커C유 연소과정에서 황산화물과 질소산화물 등의 오염물질이 발생하여 항만지역의 대기오염이 가중되자, IMO는 1997년부터 배출제한구역 중심을 황산화물과 질소산화물 배출량 저감을 위한 국제적 논의를 시작했다. 그 결과 2016년부터 배출제한구역 내 질소산화물 80% 감축 의무화, 그리고 2020년부터 황산화물 기준 3.5%에서 0.5%로 강제화 되는 규제가 공표되었고 이로 인해 스크러버 및 SCR을 선박에 설치하거나 LNG 추진선박, 연료주입을 위한 LNG벙커링선이라는 신시장이 형성되었다. 로이드 선급협회는 IMO 선박 배출오염원 규제로 인해 2025년까지 최대 1962척의 LNG추진선이 건조될 것으로 전망하였다. 또한, 클락슨 리서치에 의하면 2022년의 LNG추진선박 발주액은 137억 달러에 달할 것이라고 전망했다.

### 2.2 IMO의 온실가스(GHG) 배출 규제

IMO는 황산화물과 질소산화물에 이어 지난 4월, 온실가스 배출규제를 발표하였다. 제72차 MEPC를 통해 CO<sub>2</sub> 배출량을 2030년까지 2008년 대비 40%, 2050년까지 70%로 감축하도록 노력하기로 하였으며, 2050년의 연간 온실가스 배출총량을 2008년 대비 50% 감축하기로 결정한 것이다. IMO 선박 배출가스 감축목표를 달성하기 위해서는 선박 및 해운분야에 가용한 모든 혁신 기술이 요구되며, 특히 중장기적으로 감축목표 이행을 위해서는 기존 화석연료로는 감축목표를 달성하기 어려워 친환경 대체연료에 대한 연구와 함께 Zero-Emission 선박기술 개발과 관련 기자재 엔지니어링 핵심/원천기술 지원이 필요하다. 황산화물과 질소산화물 저감용 기술인 스크러버나 LNG연료 추진으로는 이 문제가 절대 해결될 수 없기 때문이다. 해외 기술선진국은 이미 수소가 차세대 선박 연료로 사용될 것으로 판단하고 수소연료전지 선박 개발에 박차를 가하고 있다. 기술선점을 위해 트랙레코드를 확보하기 위해서이다.

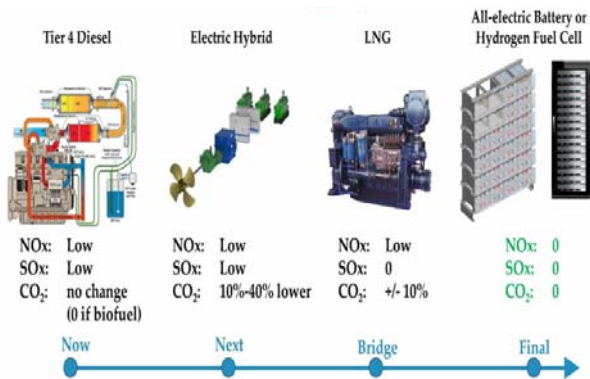


그림 5 선박 發 대기 오염물질 및 오염물질 저감 방안

### 3. 수소연료전지선박 개요

#### 3.1 수소연료전지선박의 구성

수소연료전지선박은 수소를 연료전지에 공급하여 전기를 생산하고, 생산되는 전기로 추진모터를 구동해 추진되는 선박을 말한다. 그림 7은 수소연료전지선박을 구성하고 있는 세부 시스템을 간략하게 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 수소연료전지 선박은 크게 선박용 수소연료 저장·공급 시스템, 수소연료전지-ESS 시스템, 추진·제어 시스템으로 분류할 수 있다. 선박용 수소연료 저장·공급 시스템의 경우 연료탱크와 연료공급시스템으로 분류할 수 있다. 연료탱크는 다시 고압저장탱크와 액화저장탱크로 분류할 수 있다. 고압저장탱크는 상온 조건에서 기체수소를 30MPa~70MPa 범위에서 가압하여 저장하는 방식으로 연료의 소모가 상대적으로 적은 소형선박에 적절한 방식이라고 할 수 있다. 고압저장탱크의 경우 저장용기 내외벽 구조설계, 보강재 및 저장용기 지지구조 설계, 고압

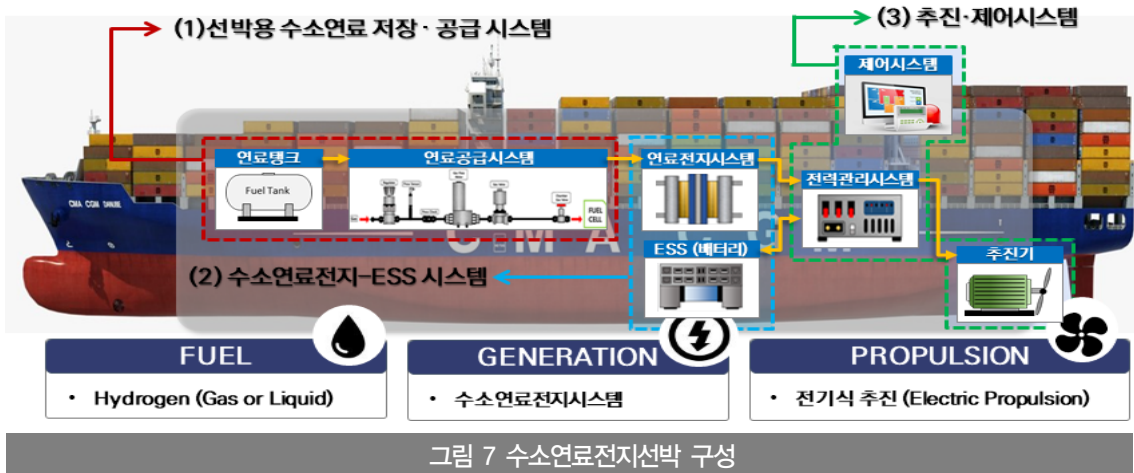
환경 하 용접부 허용구조강도 확보, 복합재료(CFRP, GFRP, graphene) 라이너 개발과 같은 기술개발이 요구된다. 액화저장탱크는 0.5~1MPa 압력 조건에서 수소를 영하 250도 이하로 액화시켜 저장하는 방식으로 상대적으로 연료 소모가 큰 중대형 선박에 적절한 방식이라고 할 수 있다. 액화저장탱크의 경우 극저온과 수소취화에서 충분히 안전성을 확보할 수 있는 강재의 선정이 중요하고, 영하 250도 이하의 극저온 환경에서 액체수소의 상을 유지할 수 있는 단열재료/구조 기술이 핵심이라고 할 수 있다. 연료공급시스템은 수소를 연료전지에 공급하기 위한 장치로 수소 공급 장치, 열교환기, 수소기화기 등으로 구성된다. 연료전지가 가동될 수 있도록 요구되는 온도와 압력으로 일정하게 수소를 공급해 주는 것이 필요하며, 액화수소를 연료로 사용할 경우에는 온도를 높여줘 기체로 만들 수 있는 기화기 등의 기자재 안전성 평가 또한 수행되어야 한다.

두 번째로 수소연료전지-ESS는 크게 수소연료전지와 ESS로 구성된다. 연료전지(Fuel Cell System)는 수소연료와 같은 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환시키는 고효율의 무공해 발전장치이다. 작동온도 및 사용용도에 따라 PEMFC(고분자전해질형), MCFC(용융탄산염), SOFC(고체산화물)로 구분되며 중 소형 선박에는 PEMFC를, 대형선박에는 고온형 연료전지(MCFC, SOFC)를 적용하는 연구가 다수 수행되었다. 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)는 생산된 유향 전기를 저장장치(배터리 등)에 저장했다가 전력이 필요할 때 공급하여 전력사용 효율을 향상시키는 역할을 수행한다. 전기에너지 저장을 위해 주로 리튬배터리가 사용되며, 그 외 Super Capacitor, NaS, Redox Flow Battery 등이 있다.

마지막으로 추진·제어시스템의 경우 크게 전기추진시스템(EPS)과 통합 제어·모니터링 시스템(ICMS)으로 구성된다. 먼저 전기추진시스템은 핵심모듈 및 이를 구성하는 동력계(배전반,

규정/규제	년도				시장 기여 효과
	1990	2000	2010	2020 ~	
이중선체 규정	1989 알래스카주 21만 톤 유조선 원유 유출	2005 단일선체 유조선 강제퇴출 규정 시행	2010 ~ 유조선 이중 선체 의무 도입 강제		5천여 척의 유조선 대량 교체수요 발생
환경오염 규제	1997 배출제한구역 중심의 배출 저감 논의		2016 질소산화물 80% 감축 의무화	2020 ~ 3.5 → 0.5% 황 함유량 의무화	약 1,962척의 LNG추진선 건조 전망 (Lloyd 선급)
온실가스 배출 규제	~ 2000 온실가스로 인한 지구온난화 심화	2004 선박 發 온실가스 저감을 위한 본격적 논의		~ 2030 온실가스 배출량 최소 40% 감축 강제	100조원 규모의 수소연료선박 시장 전망 (일본 경제산업청 예측)

그림 6 IMO 환경규제가 조선해양산업에 미친 영향



인버터, 드라이브 등) 설비로 구성된다. 통합 제어·모니터링 시스템은 선박 내 통합 제어시스템, 특히 전력 관리 및 배분을 최적화하는 기술(PMS) 및 시스템 모니터링·비상정지 역할의 시스템 등을 포함한다.

### 3.2 수소연료전지선박의 장점

연료전지선박의 가장 큰 특징이자 장점은 높은 발전효율이다. 일반적으로 가솔린 엔진은 약 25%, 디젤 엔진은 약 35%의 발전효율을 가지는 반면, 연료전지의 발전효율은 현 기술 수준으로 47~60%로 평가되며 아직도 이에 대한 개선 여지가 크다. 연료전지를 채택한 선박은 발전효율이 높은 만큼 운항 시의 연료비용을 줄일 수 있으며, 대형 벌크선이나 유조선, 컨테이너선은 하루 연료비만 하더라도 막대하기 때문에, 절감한 연료비는 운송회사나 화주에게 상당한 이익을 가져다주며, 이는 국가 경제에도 큰 보탬이 될 수 있다.

두 번째 장점은 환경 친화적이라는 것이다. 앞서 언급한 환경 규제에 따라 선박에서 배출되는 GHG는 세계 환경보전의 관점에서 감축이 필수적인 현실에서 수소연료전지를 적용하면 배기가스의 획기적 감축으로 강화되는 환경규제에 대응이 용이하다. 선박이 대형화 될수록 연료소비량은 비례적으로 증가해서 배기가스가 많아지게 되는데, 연료전지선박은 오염물질이 거의 없어 배기가스 처리를 위한 부가적인 비용이 대폭 줄어들게 된다는 장점이 있다. 선박 물동량이 계속 증가하고, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 선박에 대한 환경규제는 점차 강화될 것이며, 연료전지선박은 이러한 규제에 대하여 가장 현실적인 대안으로 떠오르고 있다.

마지막으로, 전기 모터로 운항하기 때문에 대형 디젤엔진

이 가지는 소음 및 진동이 없다는 장점이 있어 페리선이나 크루즈선에도 적합하고, 기존 선박에 필수적인 발전기용 보조엔진이 불필요하므로 선박의 설계 및 건조 단계에서도 상당한 유연성을 가질 수 있다.

## 4. 수소연료전지선박 기술개발 사례

### 4.1 미국의 수소연료전지선박 기술개발 사례

미국은 파리기후협정 탈퇴를 선언했음에도 불구하고 실질적으로는 수소연료 활용 선박개발 프로젝트를 국가주도로 활발히 진행 중에 있는 것으로 파악된다. 2008년에 New York Hornblower Hybrid 프로젝트를 통해 풍력, 태양력, 수소연료 전지가 복합적으로 탑재된 세계 최초의 하이브리드 여객선 도입을 추진해, 2012년부터 상업적 운항을 시작했다(그림 8). 2015년에는 국가연구기관 Sandia Energy 지원을 통해 액화 수소 연료공급 시스템을 탑재한 수소연료전지추진 선박에 대한 타당성 검토를 수행하였다(SF-BREEZE). 그림 9는 대상 선박의 형상 및 핵심설비 일반배치를 나타낸 그림이며, 타당성검토를 통해 선속 35노트의 고속 Ferry 운항 여부를 기술적으로 검토하였다. 최근에는 친환경 선박 연구기관인 GGZEM(Golden Gate Zero Emission Marine)에서 캘리포니아 대기보전위원회와 공동으로 수행중인 Water-Go-Round 프로젝트를 통해 승객 100여명, 최대 22노트의 속도로 운항할 수 있는 수소연료전지추진 페리를 개발 중에 있다. 한 보도 자료에 의하면 올해 중순경 미국 샌프란시스코 만에서 첫 항해를 할 것이라고 한다.



그림 8 미국 New York Hornblower Hybrid 프로젝트

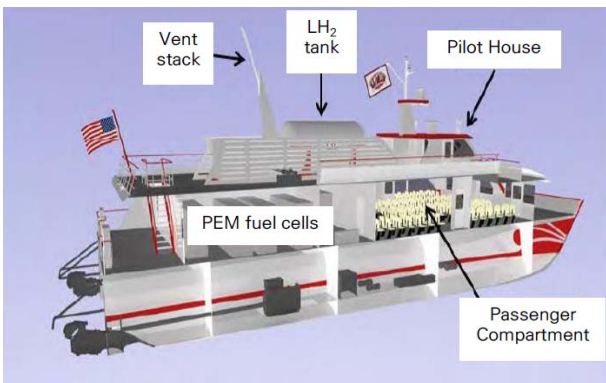


그림 9 미국 SF-BREEZE 프로젝트 (컨셉사진)

#### 4.2 유럽국가의 수소연료전지선박 기술개발 사례

약 15년 전부터 환경정책을 우선시하는 유럽 국가들은 국가 주도 성격의 수소연료전지 기술개발 그리고 개발된 기술의 선박적용 실증 프로젝트를 활발히 수행하고 있다

2006년 독일은 Linde Group, Proton Motor社, Hamburg University of Applied Sciences 등이 참여한 ZemShip 프로젝트를 수행하여 100kW 용량의 PEM 연료전지로 구동되는 세계 최초의 수소연료전지 여객선 (FCS Alsterwasser)을 개발했다. 선체 길이는 약 25m이고 약 100여명이 탑승 가능하며, 50kg 압축수소 저장 시 14km/h로 약 3일간 운항이 가능하다고 한다. 해당 선박은 3천 시간 이상의 운항실적을 보유하고 있다 (그림 10).

2009년 네덜란드는 약 300만유로의 비용을 투입하여 60kW 용량의 PEM 연료전지로 구동되는 정원 90명 규모의 수소연료전지추진 선박 NEMO H2를 개발 완료하였으며, 수소연료추진선박에 적용되는 연료전지 시스템 개발 및 실증을 위한 대규모투자 프로젝트 FellowShip(Green Ship of the

Future, 2003~2010)을 진행하여, 320kW급 선박용 연료전지 시스템의 해상 실증을 완료했다. 현재에는 MW급 연료전지 시스템을 개발 중이다.

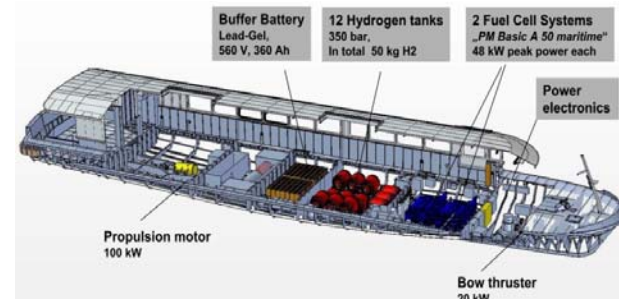


그림 10 독일 ZemShip 프로젝트 (FCS Alsterwasser)

노르웨이 수소연료전지 전문기업 Hyon AS는 2018년 세계 최초로 선박용 수소연료전지(100kW급 PEMFC)의 DNV-GL 선급 기본승인을 획득하여 선박에 적용되는 수소연료전지의 기술적 검증을 완료하였다. 그리고 노르웨이는 2020년에 세계 최초의 수소연료전지추진 대형 크루즈선(Viking Cruise)을 건조할 계획이라고 밝힌 바 있다. 길이 250m, 승객 및 승무원 총 1400여명 이상이 탑승 가능하다고 알려져 있다 (그림 11).

스코틀랜드는 세계최초로 수소연료전지로 구동되는 RO-PAX(Roll-on Roll-off Passenger) Ferry를 건조하고 있으며, 2020년에 인도되는 것을 목표로 하고 있다고 한다.



그림 11 노르웨이 Viking Cruise (컨셉사진)

표 1 수소연료선박 프로젝트 개요

국가	프로젝트명	기간	규모	선종(수용능력)	특징
미국	SF-BREEZE	2015~	47만 달러	고속여객선(150명)	선속:35노트 연료전지:2.5MW
	New York Hornblower Hybrid	2008~2011	400만 달러	페리선(600명)	선속:10노트 연료전지:32kW
	Water-Go-Round	2019~	550만 달러	페리선(100명)	선속:22노트 연료전지:600kW
독일	ZEMSHIPS	2006~2009	550만 유로	여객선(100명)	선속:7.5노트 연료전지:96kW
노르웨이	Viking Cruise	2020~	-	여객선(1400명)	선속:7노트
네덜란드	FellowShip	2003~2010	-	특수작업선(-)	연료전지:330kW
	NEMO H2	2009~	300만 유로	여객선(90명)	선속:8.6노트 연료전지:60kW
스코틀랜드	HySeas III	2018~2021	1260만 유로	페리선(120명)	연료전지:100kW

### 4.3 우리나라의 수소연료전지선박 기술개발 사례

우리나라의 수소연료선박 개발은 현재 기술 태동기인 상태로 정부지원 사업과 몇몇 기업의 연구 활동을 통해 수소선박에 필요한 요소기술을 확보해 나가고 있다. 기 수행 선박용 연료전지 프로젝트로는 50kW급 연료전지 기반 선체 및 제조 기술 개발 (금하네이벌텍, 2012), 선박보조전원용 MCFC 시스템 개발 (포스코에너지, 2011), 신개념 동력원 선박 적용 기반기술 개발 (한국선급, 2011), 선박추진용 12kW급 고분자전해질 연료전지 시스템 개발 (평화오일씰공업, 2011) 등이 있지만, 이후에 수소연료추진 실증선박에 대한 진취적인 연구 결과는 존재하지 않는 상황이다.

대표적인 수소연료선박 실증 프로젝트는 없지만, 우리나라는 수소선박을 개발하기 위한 기술의 기본적인 토대인 영하 163도 LNG선박 관련 세계 최고 수준의 극저온 기술을 보유하고 있다. 또한, 자동차용 수소연료전지 기술도 상당부분 국산화 하였으며, 기술 주도국 수준에 도달한 상태이다. 하지만 이 둘을 아직 하나로 융합시켜 본 경험이 없고, 안정적인 수소공급을 위한 수소 대량저장 기술도 완전하지 않은 상태이다. 우리나라도 수소연료전지선박을 하루라도 빨리 건조하고 선박에 탑재되는 기술이나 제품들에 대한 성능확인과정을 시작해야 할 것으로 사료된다.

## 5. 결론

세계최대의 산업국가인 미국과 환경정책을 우선시하는 유럽 국가를 중심으로 Zero Emission 선박기술 확보 및 수소연료전지선박 실증에 관한 활동을 활발히 진행하고 있고, 일부는 실증 연구를 완료해 실제 운행 중인 선박도 있다.

우리나라가 수소연료선박 기술개발에서 뒤쳐지지 않기 위해서는 선진국과 우리나라의 수소선박 기술개발 수준을 비교 평가하고 이를 바탕으로 향후 세계시장을 선도하기 위한 집중 투자가 필요하다. 다행히 최근 중앙 정부에서 수소 산업을 정부 3대 전략투자 분야로 선정 하였고, 지난월 산업부에서 발표한 수소경제 활성화 로드맵에는 2030년 이전까지 수소연료선박의 상용화 및 수출프로젝트를 추진하겠다고 계획되어 있다. 이러한 측면에서 지금이 우리나라가 세계적인 수소선박 기술 선도국가로 도약할 수 있는 적기라고 판단된다. 앞으로의 범국가적 차원의 지원을 통한 집중적 연구개발로 조선해양산업의 제3 부흥기를 유도하고, 미래를 위한 핵심기술 선점을 바탕으로 향후 40년 이상 세계시장 주도기반을 마련하는 것이 가능할 것이라 판단된다. 최종적으로, 선박만이 아닌 초저온 청정에너지 수송 및 저장관련 기술 경쟁력을 강화하고 유관산업 표준화 선도를 통해 글로벌 청정에너지 Supply Chain의 세계시장 지배력을 제고할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- 이호춘, 황진희, 박한선, 류희영 [우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안, 한국해양수산개발원] (2016)  
 Third IMO GHG Study 2014  
 육근형, 김근섭, 이기열 [항만도시 미세먼지 대책 수립 시급, 한국해양수산개발원] (2017)  
 박기형, 조정구 [부산지역 대기 중 초미세먼지의 화학적 조성 과 오염특성 평가 연구(I), 보건환경연구원보] (2009)  
 김성현, 최병철, 전병민, 신정규 [국제해사기구 환경안전규제 동향 파악 및 대응방안, 한국조선해양플랜트협회] (2017)  
 Joseph W. Pratt, Leonard E. Klebanoff [Optimization of Zero Emission Hydrogen Fuel Cell Ferry Design, With Comparisons to the SF-BREEZE, Sandia Report.(SAND2018-0421)] (2018)  
 한원희, 최정식, 최재혁 [수소에너지 기술 개발 현황과 선박적용 동향, 해양환경안전학회지] (2010)  
 가스신문 [미, 수소연료전지 선박 최초 개발한다] (2018)  
 Oldsailor [Nemo H2: Worlds First Fuel Cell Powered Canal Boat Launched in Amsterdam] (2009)  
 Fuel Cells Bulletin [Hyon wins DNV GL approval for maritime use of PowerCell module-based fuel cell solutions, Fuel Cells Bulletin] (2018)  
 Adam H. Graham, [The Rising Tide: How Viking Changed Cruising, Departures.] (2016)  
 Fuel Cells Bulletin [HySeas III consortium to build world's first renewables-powered fuel cell ferry in UK, Fuel Cells Bulletin] (2018)  
 금하네이벌텍 [50kW급 연료전지 기반 선체 및 제조기술 개발, 지식경제부] (2012)  
 포스코에너지 [선박보조전원용 MCFC 시스템 개발, 산업통상자원부] (2011)  
 한국선급 [신개념 동력원 선박 적용 기반기술 개발, 산업통상자원부] (2011)  
 평화오일씰공업 [선박추진용 12kW급 고분자 전해질 연료전지 시스템 개발, 지식경제부] (2011)



이제명

- 1969년생
- 1999년 동경대학교 선박해양공학과 박사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 교수
- 관심분야 : 연속체 손상역학, 선박구조역학, 구조건전성 평가, 극저온소재 기술
- 연 락 처 : 051-510-2342
- E - mail : jaemlee@pusan.ac.kr



김정현

- 1986년생
- 2016년 부산대학교 조선해양공학과 박사졸업
- 현 재 : 부산대학교 BK21+사업단 연구교수
- 관심분야 : 구조건전성 평가, 극저온소재 기술
- 연 락 처 : 051-510-3986
- E - mail : honeybee@pusan.ac.kr



김슬기

- 1986년생
- 2016년 부산대학교 조선해양공학과 박사졸업
- 현 재 : 부산대학교 극저온소재연구소 연구교수
- 관심분야 : 구조건전성 평가, 극저온소재 기술
- 연 락 처 : 051-510-3986
- E - mail : kfreek@pusan.ac.kr



김태욱

- 1992년생
- 2019년 부산대학교 조선해양공학과 박사졸업
- 현 재 : 부산대학교 BK21+사업단 연구원
- 관심분야 : 구조건전성 평가, 극저온소재 기술
- 연 락 처 : 051-510-7746
- E - mail : kty2345@pusan.ac.kr



김명성

- 1988년생
- 2016년 부산대학교 조선해양공학과 석사졸업
- 현 재 : 부산대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : 구조건전성 평가, 극저온소재 기술
- 연 락 처 : 051-510-7746
- E - mail : dover@pusan.ac.kr