

# 수소연료전지선박 기술개발 동향

(사)한국선급은 2010년도 초반에 선박에 연료전지를 적용하기 위한 기술개발 및 승인을 위한 기준개발에 매진해 왔다. 국제해사기구(IMO)의 규제 강화에 대비하기 위해 여러 가지 기술(SCR, Scrubber, EGR 등) 개발을 주도해 왔으며, 처음부터 탈탄소화를 실현할 수 있는 수소에 대한 연구에 주목하였다. 수소연료전지를 선박에 적용하기 위한 기술 개발 뿐만 아니라 연료로 사용하는 수소의 운송 측면에서의 선박의 효율성을 고려하여 연료전지 추진과 동시에 운송선까지 연구를 수행하였고, 본 글에서 지금까지 수행한 내용과 개발 동향을 소개하고자 한다.

## 1. 서론

국제해사기구(IMO)에서 발간한 Third IMO GHG Study 2014에 따르면 국제해운의 2012년 기준으로 796백만톤의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 배출하였으며, 이는 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량의 2.2%를 차지하고 있다. 국제해운의 온실가스 배출량은 기후변화협약(UNFCCC)에 의하여 요구되는 국가별 배출량 통계 및 감축규제에 포함되고 있지 않으며, 교토의정서 제2조2항에 따라서 IMO에서 국제해운 감축에 대한 논의를 위임받아 추진해오고 있다. 국제 해운 분야를 산업분야가 아닌 하나의 국가로 간주할 경우, 국제해운의 배출량인 796백만톤은 전 세계 6위의 배출량을 가진 국가인 독일의 755백만톤(2012년 기준)보다 많은 배출량을 차지하고 있기 때문에 국제사회에서는 전 세계의 협력이 필요한 기후변화 및 지구온난화 방지를 위해서는 국제해운 분야에서도 의미 있는 온실가스 감축이 필요하다고 판단하여 IMO를 통한 국제해운에 대한 감축조치의 조속한 이행을 요구하고 있다.

또한, IMO에서는 선박의 온실가스 감축을 위하여 다양한 기술적 및 운항적 감축 조치들의 도입을 논의해왔는데, 새로 건조되는 선박에 대하여 에너지효율 기준의 달성을 요구하는 에너지효율설계지수(EEDI) 및 운항 선박의 에너지효율 관리를 위한 선박에너지효율관리계획서(SEEMP)를 선박대기오염

표 1 선박 CO<sub>2</sub> 배출량 및 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교 (단위 백만CO<sub>2</sub>)

Year	Global CO <sub>2</sub>	Total Shipping		International Shipping	
		CO <sub>2</sub>	% of Global	CO <sub>2</sub>	% of Global
2007	31,409	1,100	3.5%	885	2.8%
2008	32,204	1,135	3.5%	921	2.9%
2009	32,047	978	3.1%	855	2.7%
2010	33,612	915	2.7%	771	2.3%
2011	34,723	1,022	2.9%	850	2.4%
2012	35,640	949	2.7%	796	2.2%
Average	33,273	1,016	3.1%	846	2.6%

출처: Third IMO GHG Study 2014

방지협약(MARPOL) 개정을 통해 2013년부터 강제화하였다. 그리고, 추가적인 감축 규제 도입 여부를 판단하기 위하여 필요한 선박 연료사용량 및 운항 데이터의 보고를 강제화하는 데이터수집시스템(DCS) 규제를 MARPOL 개정을 통해 2018년부터 강제화하였다.

이와 더불어 IMO는 지구온난화 방지를 위한 전 세계의 합의사항인 파리협정에 발맞추기 위하여 금세기 내 선박 탈탄

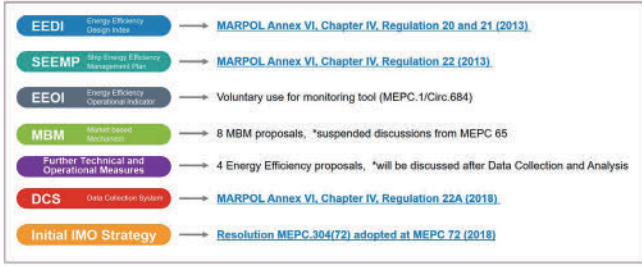


그림 1 IMO 선박 온실가스 감축 규제

소화 실현을 위한 감축 목표 및 감축 조치를 포함한 선박 온실가스 감축 초기전략(Initial IMO Strategy)을 아래와 같이 채택하였다.

- 1) 선박 탄소집약도(Carbon Intensity)의 감소를 위한 신조선에 대한 EEDI의 추가적인 강화를 위한 추가 감축단계 도입
- 2) 국제해운 탄소집약도 감소를 위하여 1톤의 화물을 1마일 운송할 때 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량인 선박의 원단위 배출량(tCO<sub>2</sub>/ton-mile)을 2008년 대비 2030년까지 40% 및 2050년까지 70% 감축
- 3) 국제해운 온실가스 배출량을 가능한 빨리 고점에 도달시키고 연간 총 온실가스 배출량의 2008년 대비 2050년까지 50% 감축

IMO에서는 이러한 초기 감축 목표 달성을 위하여 단기(2018~2023)·중기(2023~2030)·장기(2030 이후) 조치를 수립하여 감축 규제를 시행할 계획을 세웠다.

이러한 규제가 강화됨에 따라 선박에서 배출되는 대기오염 물질을 저감하기 위해서는 에너지 패러다임을 변화시킬 것이며, 다양한 친환경 연료가 차세대 대체 연료로 주목받고 있으며, 그중에서 수소를 이용하는 기술이 가장 유력한 기술로 간주되고 있다. 왜냐하면 수소는 온실가스 배출량 작감 및 제로가 가능하며, 수소에너지를 이용하는 연료전지의 종합에너지 효율이 80%에 달하며, 다양한 에너지원 및 방식으로 생산 가능하여 자원의 한계가 없기 때문이다. 이에 세계 주요국들은 수소연료전지를 선박에 적용하기 위한 기술개발을 가속화 하고 있으며, 수소의 공급이 증가할 것을 예상하여 수소운송선의 개발도 동시에 진행하고 있다,

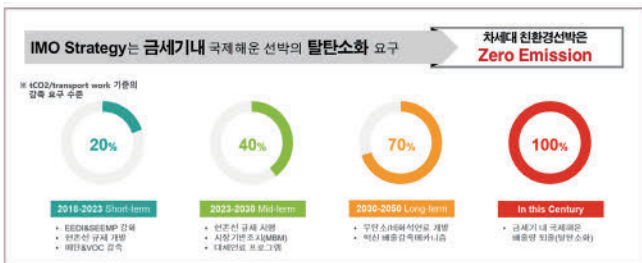


그림 2 Initial IMO Strategy 감축 목표 및 감축 조치

## 2. 수소선박 정책 동향

### 2.1 미국

캘리포니아 주는 청정에너지전원 확충 구상을 위하여 신재생에너지 및 온실가스 無배출전원(원전 포함)으로 전환하고, 에너지효율 증진을 통해 화석에너지 수요 증가를 원천적으로 차단하는 것으로 계획을 수립하고 있다. 그리고 수송부문 청정연료 전환정책으로서 캘리포니아 에너지위원회는 6개의 항구도시와 파트너십을 체결하여, 항구도시들이 직면한 경제·환경적 도전과제들에 대한 해결책을 강구하는 한편, 수소추진선박 등 청정 수송기술 개발 및 적용을 위해 협력하고 있다.

### 2.2 EU

유럽에서는 수소전기차 실증을 통해 수소연료의 안정성 및 효율성에 대한 연구결과를 확보하고, 육상에서의 기술적 성숙도를 해상으로 연장하기 위한 동력원으로 연료전지를 활용하는 수소선박 개발에 노력 중이다. 특히, 독일은 함부르크의 도시개발 및 환경부를 중심으로 ‘ZEMSHIPS(Zero Emission Ships)’ 프로젝트를 진행하여 최초의 상업선박으로 수소연료 여객선인 ‘FCS 알스타바서’를 개발하여 운용하고 있다.

아이슬란드는 세계 최초로 수소경제 국가비전 수립을 소개한 바 있고, 선박의 동력을 연료전지로 대체하기 위한 계획을 포함한 5단계 로드맵을 제시하여 2040년까지 수소사회로의 전환을 목표로 하고 있다.

### 2.3 일본

일본은 제4차 에너지기본계획을 바탕으로 수소연료전지 전략 로드맵을 수립하고 수소를 일상생활과 산업 활동 전반에 활용 가능한 에너지원으로 설정, 이를 전제로 한 제도 정비 및 관련 인프라를 구축하는 것을 내용으로 추진하고 있다.

일본은 수소선박에 국한되지 않고, 수소에너지를 현재 사용하고 있는 우주산업 분야 혹은 에너지 관련 산업공정, 가정용



그림 3 수소에너지의 활용 및 전략로드맵



열병합 발전시스템이나 수소연료 전지자동차뿐만 아니라 수소선박, 비행기, 철도차량 등 전 방위적 '수소사회' 구축을 목표로 하고 있기 때문에 액체수소를 해외에서 도입하기 위한 수소운송선박의 개발에 가장 앞서 있다.

## 2.4 중국

연비 중국 국무원은 '18년 6월 '청정대기보호 3개년 행동계획'을 발표하고 수송부문의 친환경화를 위하여 선박 연료의 청정화를 추진 중이며 이에 대한 세부 내용은 아래와 같다.

- '청정대기보호 3개년 행동계획'은 대기 질 개선을 위하여 '20년까지 이산화황, 질소산화물 배출량을 '15년 대비 15% 이상 감축을 목표로 함
- 이 중 수송부문의 친환경화를 위하여 '18년 7월 1일부터는 생산되는 선박 엔진에 대해 배출 기준을 강화할 계획이며 수소, 천연가스 등 청정에너지나 신재생에너지를 연료로 사용하는 선박을 보급하고, 사용 연수가 20년을 넘은 내륙 운하용 선박은 퇴출시킬 계획을 세움

## 2.5 한국

한국정부는 '수소경제 활성화 로드맵'(19.01)을 발표하면서 수소 활용을 수소차 이외에도 수소선박 등으로 확대하고 미래 유망품목으로 육성하고자 하는 계획을 발표하고 '30년까지 수소 선박을 상용화하고 수출까지 성사시켜 조선 산업의 위기를 수소 선박을 통해 극복하겠다는 전략을 수립하였다.

수소경제로드맵에서는 선박을 연안선박과 대양선박으로 구분하여 각각 다른 전략으로 사용화를 위한 기술개발을 계획하고 있다. 연안선박의 경우 정부가 수백 kW 이내 선박용 연료전지시스템 개발('22년), 실증을 통한 기술 검증('25년), 민간분야로 확대('27년)하는 전략이며, 대양선박의 경우에는 스택의 모듈화, 통합시스템 개발('25년) 후 MW급 연료전지시스템의 성능 및 안전성 확보('27년), 대형선박에 적용('30년)하는 단계별 전략을 수립하였다. 이와 동시에 수소연료전지선박에 대한 병커링 인프라, 법/제도적 지원, 연료전지선박에 대한 지원금 운영 등을 별도로 추진, 기술개발과 보조를 맞추고 있다.

표 2 수소경제로드맵 선박 분야

구분	현재	2022년	2025년	2030년 후
기술목표	연안선박	선박용 연료전지 검증	실증을 통한 검증/성능개선	실선 적용 확대
	대양선박	스택 모듈화 기술 개발	MW급 대용량 연료전지 시스템 검증	대형선박 확대

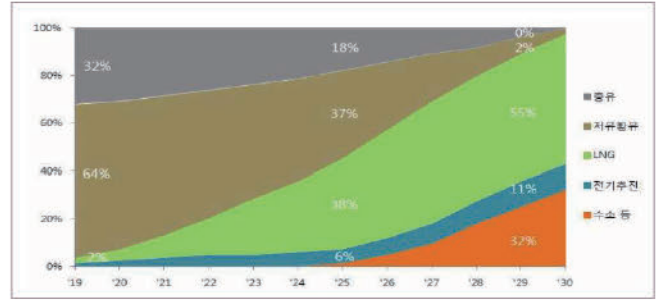


그림 4 선박 연료비중 전환 추진  
(출처: 조선 산업 활력 제고 방안. 2018.11.22. 관계부처 합동)

## 3. 수소연료전지선박 기술개발 동향

### 3.1 수소연료전지 선박시장 전망

선박용 수소·연료전지는 해양오염 규제에 따라 2030년 경 전체 선박연료의 1/3에 달할 것으로 전망된다. 2019년 기준 전체 선박 연료의 98%는 중유와 저유황유가 차지하고 있는데, '25년 기준 LNG가 38%, 전기가 6%를 차지하는 등 친환경 연료가 기존의 중유, 저유황유를 대체할 것이며, 2025년부터 수소 연료가 상용화되어 '30년에는 수소 연료가 전체 연료의 32%를 차지할 것으로 전망된다.

수소 수요시장은 지속적으로 확대될 전망이며, 글로벌 교역 또한 활발할 것으로 기대되는데, EU의 그린수소 인증제도 (CertifyH)의 보고서에 따르면, 글로벌 수소 수요량은 '10년 5,000만 톤에서 '25년 5,800만 톤에 달할 것이며, 이후 연간 성장률 3.5%로 성장하여 '30년 6,888만 톤에 달할 것으로 전망하고 있다. 특히, 특히 국내의 경우, '30년까지는 국내 수소 생산량으로 수요 충족이 가능하지만 '30년 이후에는 해외에서의 수소를 수입하여 국내 수요를 충족시키는 것으로 계획을 수립하고 있고, LNG 운송선 사례로 비추어볼 때, 향후 수소 교역 또한 해상을 중심으로 형성되는 등 수소 운반선 건조 시장 또한 향상될 것으로 기대된다.

### 3.2 기술개발 동향

#### 3.2.1 PEMFC 연료전지 선박: Alsterwasser

2008년 8월 독일 함부르크 시에서는 Zemships(zero emission ships) project를 통해 "Alsterwasser"라고 불리는 최초의 PEMFC



그림 5 FCS Alsterwasser



연료전지 선박을 제작하였는데, 이 여객선은 100kW(약 130마력)으로 연료전지에서만 5kW 이상의 전력으로 구동되며 350bar 압력탱크에 50kg 수소저장 시 약 3일간 운항이 가능하고, 14km/h, 연간 1,000kg의 이산화황 및 7만 kg의 CO<sub>2</sub> 배출 감소 효과를 가지고 있다.

### 3.2.2 MCFC 연료전지 선박: FellowSHIP

2009년 노르웨이 및 독일에서는 공동 산업 프로젝트인 FellowSHIP에서 330kW급 MCFC 연료전지 시스템을 개발하였고, 7,000시간 이상의 성능검증을 완료하였다.



그림 6 Viking lady(FellowSHIP)

### 3.2.3 메탄올 개질 연료전지 선박: MS innogy

2017년 8월 덴마크의 연료전지 제작회사(SerEnergy)에서 개발된 메탄올 연료전지시스템을 이용하여 독일 최초선박인 MS innogy호를 운항 중인데, 현재 MS innogy호에 장착된 메탄올 개질 시스템은 5kW모듈 7개로 구성되어 있으며 총 35kW용량으로, 연료전지에서 나오는 폐열을 메탄올 재생과정에 사용해서 40~50%에 달하는 높은 전기효율을 가지고 있다.



그림 7 MS innogy

### 3.2.4 수소연료전지 요트

네덜란드의 Sinot Yacht & Architecture Design는 '19년 모나코 요트쇼에서 세계 최초로 수소연료전지 수퍼요트 Aqua를 공개하였다. 이 배는 28ton의 액화수소 탱크 2개를 장착하였으며, 약 100M 크기의 메가 요트로 소개되었다. 이 배는 최고 17 노트로 운항이 가능하다.



그림 8 Aqua superyacht

### 3.2.5 해상건설용 연료전지 선박

노르웨이 조선업체인 울스타인은 수소연료전지를 적용한 해상건설용 'Ulstein SX190 Zero Emission DP2' 로 알려진 수소전기선박을 소개하였다. 이 선박은 네덜란드 연료전기 기업인 네드스택(Nedstack)의 연료전지 시스템을 탑재한 선박으로 연료전지는 별도의 엔진실에 설치되었으며, 2MW급 PEMFC가 설치되었다. 이 선박은 4일간 탄소 배출 없이 작동할 수 있으며, 이 기간은 수소 저장과 연료전지 기술의 발전이 이루어지면 2주까지 증가할 것으로 예상되며, 더 긴 임무나 운송을 위해 디젤 전기 구동 장치도 설치됐다. 향후 울스타인은 수소전기선박의 내구성을 높이는 데 주력할 계획이다.

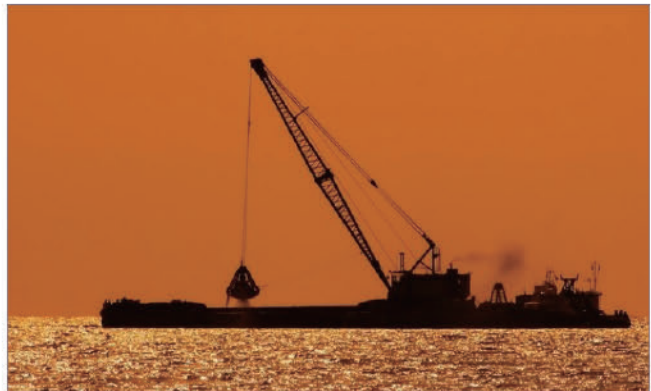


그림 9 노르웨이 울스타인 연료전지 선박 (출처: 월간수소경제)

## 4. 결론

본 글에서는 수소연료전지 선박의 기술개발 동향 및 정책 동향에 대해서 간단히 기술하였다. 친환경 기술을 선박에 적용하기 위한 여러 가지 정책 및 기술개발이 이루어지고 있으나, 수소연료전지를 선박에 적용하는 것은 해외에 비해 국내가 뒤쳐져 있는 것은 사실이다. 해외에 비해 기술 적용이 더딘 이유는 기술에 대한 인식 부족과 조선산업 불황으로 인한

신기술도입에 대한 거부감이 크게 작용하고 있기 때문에 분석할 수 있다. 지금이라도 정부의 수소경제 로드맵에 따라 크게 기술과 정책, 그리고 인프라 분야의 계획을 아래와 같이 세분화하여 추진할 필요가 있다.

#### 4.1 기술개발

연료전지 선박 개발은 중·소형 선박과 대형선박으로 구분하여 차별화된 기술개발 및 지원이 이루어져야 한다.


- 1) 중·소형 선박은 자동차용 시스템을 기본으로 선박에 적합하게 개발하고 실증을 통해서 문제를 해결한 후 시범사업으로 영역을 확대해야 한다.
- 2) 대형선박은 개발 초기에 대용량의 연료(수소 등) 저장에 대한 타당성 R&D를 통해 적용시스템의 타입을 결정하고, 대용량화에 연구개발을 집중해야 한다.

다 산업군에서 사용하고 있는 기술은 이용하되 해상환경 및 선박시스템과의 호환성 문제, 통합 제어 부분은 시스템 개발과 동시에 이루어져야 연료전지 선박 분야의 주도권을 확보할 수 있다.

#### 4.2 법·제도·정책

선박에 수소를 충전할 수 있는 법적 근거 마련이 시급하고, 충전시설에 대한 기준 개발, 정책적 지원 제도 마련이 수반되어야 한다. 또한, 정부의 주도로 초기 시장을 개척해야 하며 민간이 참여할 수 있는 선주 및 사업주에 대한 인센티브 제도가 마련되어야만 하며, 선박에 적용되는 연료전지 시스템에 대한 검증방법, 선급 승인, 인증체계 등이 법규상 체계를 갖추고 있어야만 한다.

#### 4.3 인프라

수소연료전지선박의 개발과 동시에 수소의 충전기술, 즉 병커링에 필요한 인프라는 반드시 동시에 구축이 되어야 하는데, 초기 시범사업을 통해 시스템 및 선박, 인프라를 소규모로 구축하고, 이의 검증을 통해서 안전성을 확인한 후에 대용량으로 확장해야만 성공할 수 있다고 판단한다. 이러한 인프라 구축을 통해 대형선박에 필요한 기술을 검증한 후 대형 인프라로 확장하는 개념이 필요하며, 기술개발 단계에 맞추어 인프라 구축 계획을 수립하고 추진해야 한다. 

#### 노길태 한국선급 연구본부 선박해양연구소 미래기술연구팀 수석연구원

1975년 8월 3일생. 동국대 화학공학과 졸업. 동 대학원 화학공학과 졸업(석사). 연세대 화공생명공학과 졸업(박사).  
2004년~2010년 삼성 SDI 중앙연구소, 두산중공업 기술연구원, 현대-기아자동차 환경기술센터 연료전지 연구 수행.  
2010년~현재 한국선급 연구본부 선박해양연구소 미래기술연구팀 수석연구원.

