



# 이슈리포트

수소선박

2020.04.



해양수산과학기술진흥원  
Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion



이슈리포트 [ 수소선박 ]

---

# 수소연료 추진선박 관련 기술동향

---

2020.04.

한국선급 천 강 우 센터장



# 1 | 서론

## 1.1 배경 및 필요성

- ④ 2015년 프랑스 파리에서 열린 유엔 기후 변화 회의(COP21, 21st Conference of the Parties)에 한국을 포함한 195개국이 서명함에 따라, 지구 온도 상승을 2°C 이내로 억제하기 위한 계획을 실행 중임
- ④ 기후변화 억제를 위해서는 에너지 전환이 필수적으로, 모든 산업은 해당 분야에서 탈탄소화의 필요성에 직면해 있으며, 기후변화 억제방안으로 에너지 전환은 재생에너지로의 전환을 의미함
- ④ 재생에너지의 수요가 증가함에 따라 원활한 재생에너지 보급 확대를 위해서는 대량의 에너지 저장이 필요하며, 수소가 중요한 에너지 매체로 다시 조명 받게 됨
- ④ 이에 따라, “수소 사회”, “수소 경제”라는 용어가 함께 사용되고 있으나, 수소가 모든 것을 해결해 준다는 의미가 아니라 수소를 전기, 석유, 도시가스과 함께 주요 에너지의 형태 중 하나로 이용하고, 또 확대해 나가는 것이라 할 수 있음
- ④ 2018년 4월 국제연합(UN) 전문기구 중의 하나인 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 금세기 내 선박 탈탄소화 실현을 위하여 선박 온실가스 감축 초기전략(Initial IMO Strategy)을 채택함
- ④ 해당 전략에서는 국제 해운의 탄소 집약도를 2030년까지 40%, 2050년까지 70%를 감축하여 전체 국제해운분야에서의 온실가스 배출량을 2050년까지 50% 감축하도록 함
- ④ 해운분야에서의 탈탄소화를 위하여 다양한 기술에 대한 논의가 이루어지고 있으나, 선박연료의 변화가 없이는 목표 달성이 어렵다는 것이 산업계의 공통적인 견해이며, 이를 위한 대체 연료로 LNG, 바이오연료, 암모니아 및 수소 등이 고려되고 있음
- ④ 수소는 탄소를 전혀 배출하지 않는 대체연료일 뿐만 아니라 재생에너지를 이용하여 친환경적으로 생산이 가능하여 국내 및 여러 국가에서 추진하고 있는 “수소 사회”에도 부합함
- ④ 선박에서 배출되는 이산화탄소 저감을 위해 수소 전기선박, 배터리 하이브리드 선박용으로 100kW부터 수 MW에 이르기까지 다양한 용량의 제품이 출시될 것으로 전망하고 있으며, 에너지 밀도가 높은 액체 수소를 사용한다면 장거리 항해와 빠른 충전이 가능할 것임

- ▶ 향후 재생에너지로부터 얻은 그린수소<sup>1)</sup>를 선박추진 연료로 사용한다면, 연료전지시스템은 well-to-wake<sup>2)</sup> 제로 배출 동력원이 될 것임
- ▶ 따라서 수소는 탈탄소화를 위한 미래 대체연료일 뿐만 아니라, 수소경제를 위하여 수소 운송선이 필요할 것으로 예상되어, 조선해양분야에서 큰 부가가치를 창출하여 혁신성장의 원동력이 될 것으로 기대함

## 1.2 수소 연료의 특징 및 안전성

- ▶ 수소는 253°C에서 액체로 되고, 폭발한계는 넓고 착화 에너지가 작으며, 공기 중에서 폭발 하한 및 상한 범위는 4~75%로 넓은 특성을 가지고 있어, 일반인이 익숙하게 사용하고 있는 천연가스나 프로판 가스와 비교한다면, 연소속도와 확산속도가 빠르고 체적당 발열량이 작아 점화에 의해 폭발적으로 연소하게 되며 잘못 사용하면 안전사고를 일으킬 개연성이 높음
  - 2019년 5월 국내 강릉 과학산업단지에서 발생한 수소 저장용기 폭발에 따른 인명피해와 같은 해 6월에 발생한 노르웨이 산드비카(Sandvika) 충전소의 화재사고로 인하여 수소와 관련한 사고가 최근 발생함
  - 이러한 수소의 폭발 위험성으로 안전규제, 코드, 표준화의 공조 등 다른 에너지와 마찬가지로 안전을 최우선적으로 고려할 필요성이 증가하고 있어, 수소 사회로 가는 데 있어 필요한 안전 기술 및 취급 가이드라인을 설정하여야 하며 기존 사고 사례를 철저히 분석하여 재발을 방지하기 위한 기술적 조치들이 선결되어야 함
  - 또한 수소 연료 특성에 맞추어 안전하게 다룰 수 있는 취급 조건을 검증 및 표준화하고, 사고를 막을 수 있는 감시, 제어시스템 구축을 통하여 수소안전운용을 확보하는 것이 필요함

1) 그린수소 : 이산화탄소 배출을 수반하지 않는 수소

2) well-to-wake : 항공연료에서 전주기평가 시, 이산화탄소 배출량을 나타내는 용어로 선박에서도 사용함

[표 1] 우리나라의 수소 안전과 관련한 노력과 고시

수소안전 관련 기준	제·개정 및 고시	
저장식 수소자동차 충전시설·기술·검사기준	KGS코드 제정, 12회 개정	2011.04
제조식 자동차 충전시설·기술·검사기준	KGS코드 제정, 10회 개정	2011.04
수소충전소용 복합재료 용기 허용	고압가스안전관리법 시행규칙 개정	2015.09
압축 수소가스용 복합재료 압력용기 제조기준	KGS 코드 제정	2015.10
용·복합 및 패키지형 자동차 충전소 시설기준	산업부 고시	2016.07
수소충전소 부품 KS인증제도 도입	고압가스안전관리법 개정	2017.10
	고압가스안전관리법 시행	2019.11
무인동력 비행장치용 압축 수소용기의 제조기준	산업부 고시	2018.04
수소가스시설 방폭 상세기준	KGS코드 제정	2018.07
이동식 수소자동차 충전소 시설기준	산업부 고시	2018.10
압축수소 운송용 비금속라이너 복합재료 용기제조 기준	KGS코드 제정	2019.02

- ▶ 현재 국내 수소선박과 관련한 안전기준 및 법제 고시가 전무하여, 이로 인해 발생할 수 있는 수소선박 안전사고와 관련한 예방 조치가 미흡하다고 볼 수 있으며, 수소선박 운용 시 발생하는 문제에 대한 모니터링을 통해 원인파악과 대처방안에 대한 데이터의 축적이 필요하고 안전 운영을 위한 가이드라인 뿐만 아니라 수소선박 관련 법 제·개정 구축이 병행되어야 할 것임



[표 2] 수소경제 활성화 로드맵 주요 추진목표 - 수소 공급 및 가격

		2018년	2022년	2030년	2040년
공 급 · 가 격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年 이상
	공급방식	①부생수소(1%) ②추출수소(99%)	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50% ② : 50%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70% ② : 30%
	수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

- ▶ 국내에서는 2018년 4월에 수소경제사회 이행을 촉진하기 위한 기반을 조성하고, 수소산업의 체계적 육성을 위한 수소경제법안이 발의되었으며, 2019년 1월 '수소경제 활성화 로드맵'이 발표됨
  - 수소경제 활성화 로드맵에 따라 자동차를 포함한 모빌리티, 연료전지 및 가스터빈에서의 수소 활용을 점차 확대해 나갈 계획으로, 수소 공급방법으로는 부생수소, 추출수소, 수전해 및 해외생산이 고려되고 있어 안정적인 수소 수급을 위해서는 해외로부터의 수소 수입은 불가피한 실정임
  - 수소의 안정적인 수급을 위하여 액화수소 운반선을 건조한 일본과 동일하게, 국내의 수소 수입은 선박을 통한 액체 운송이 적합하다고 판단됨

## 2.2 국내외 수소연료 선박 동향

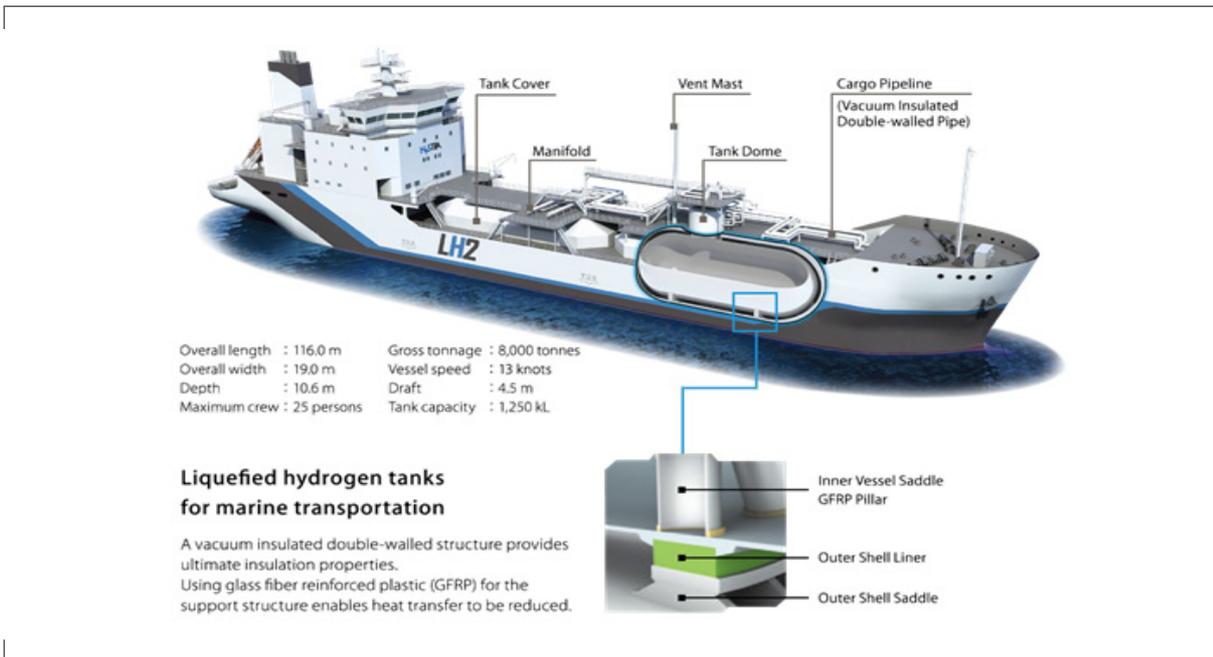
- ▶ 노르웨이는 친환경 기술 표준화 선점을 위해 수소연료전지 선박에 대한 지원책을 마련하는 등 활발히 연구개발을 진행하고 있으며, 인근 해역인 피오르드 지역을 2026년까지 제로 탄소배출 지역으로 만들고자 발표함
- ▶ 독일은 노르웨이와 함께 수소 연료전지를 선박에 배치하여, 수소 추진선 개발 실적을 보유하고 있으며, 미국은 수소 연료 활용 선박개발 프로젝트를 국가연구기관인 Sandia Energy 및 GGZEM과 함께 공동연구 개발 중에 있음
- ▶ 국내에서는 (주)금하네이벌텍에서 2015년 50kW급 연료전지 전기추진 선박 골드 그린 하이젠을 개발한 바 있으며(그림 2), 이를 위하여 정부지원금 40억 원이 투입된 바 있으나, 현재 선박 운항 및 육상 충전 등을 위한 안전규정 및 법규의 부재로 인하여 해당 선박의 운항 및 시장화가 진행되지 못하고 있음

- ▶ 육상 분야의 경우, 수소자동차를 필두로 하여 각종 법규 및 안전기준이 제정되고 있으나, 선박의 경우는 아직 관련 규정 및 법규가 미비한 상황임



〈그림 2〉 골드 그린 하이젠(Gold Green HYGEN)<sup>4)</sup>

- ▶ 수소 운송선의 경우, 일본에서 세계 최초로 수소 운송선 프로젝트를 진행하고 있으며, 2020년에 호주에서 일본으로 액화수소를 운반할 계획임(그림 3)



〈그림 3〉 일본의 세계 최초 액화수소 운반선(SUISO FRONTIER)<sup>5)</sup>

4) [http://www.khnt.co.kr/html/business/leisure\\_02.html](http://www.khnt.co.kr/html/business/leisure_02.html), 2020년4월16일 접속

5) <http://www.hystra.or.jp/en/project/>, 2020년4월16일 접속

[표 3] 수소연료 추진선박 및 수소 운송선 현황

연구기간	프로젝트	선종	국가	연료전지 종류	연료전지 용량	저장 방식	저장 용량
2006-2013	ZemShip	페리	독일	PEMFC	96kW	고압수소 (350bar)	50kg
2012	Nemo H2	보트	네덜란드	PEMFC	60kW	고압수소 (350bar)	24kg
	Hornblower Hybrid	페리	미국	PEMFC	32kW	고압수소	-
	Hydrogenesis	페리	영국	PEMFC	12kW	고압수소 (350bar)	-
	Scandlines	카페리	독일	-	8.3MW	액화수소 + 배터리	140m <sup>3</sup>
2015	Gold Green HYGEN	보트	한국	PEMFC	50kW	고압수소	-
	SF-Breeze	고속페리 (타당성 조사)	미국	PEMFC	4.92MW	액화수소	1,200kg
2019	Water-Go -Round	페리	미국	PEMFC	360kW	고압수소 (250bar)	264kg
2020	SUIISO FRONTIER	수소 운송선	일본	-	-	액화수소	1,250m <sup>3</sup>
	Viking Cruise	크루즈	노르웨이			액화수소	
2021	FLAGSHIPS	페리	노르웨이	PEMFC	400kW	액화수소	
	ZEFF	페리	노르웨이	-	-	-	-
	SeaShuttle	컨테이너 운반선	노르웨이	-	-	-	-
	Elektra	바지선	독일	PEMFC	300kW	고압수소 (500bar)	750kg

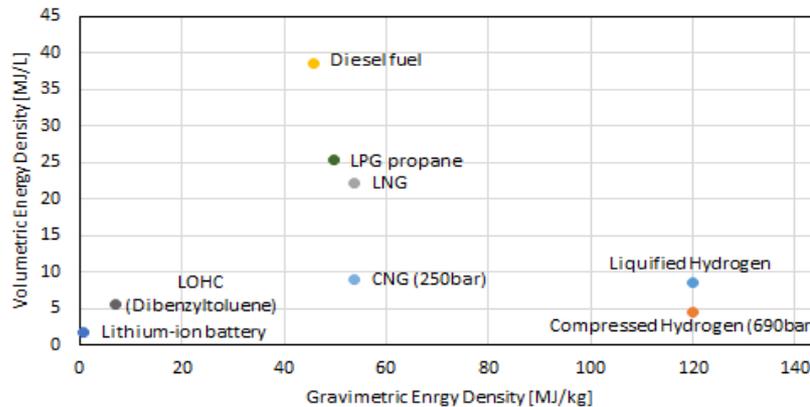
## 3 | 기술개발 동향

### 3.1 연료전지시스템

- ▶ 기존의 내연기관을 이용한 선박과 달리 수소연료 추진선박은 연료전지를 이용한 전기추진 방식으로 개발되고 있으며, 연료전지시스템은 연료전지스택, 연료공급시스템, 공기공급시스템 및 열관리시스템으로 구성됨
  - 연료전지스택은 수소와 공기를 반응시켜 전기를 생산하는 핵심 부품으로, 연료전지시스템의 원가 비중 40% 이상을 차지함
  - 연료전지시스템의 원활한 작동을 위하여 스택에 연료공급시스템과 공기공급시스템이 각각 수소와 공기를 공급하게 되며, 열관리시스템이 연료전지스택의 적절한 작동온도를 유지하게 됨
  - 연료전지의 종류는 여러 가지가 있으나 현재까지 가장 보편화된 종류는 고분자 전해질 연료전지 (PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)로, 저온형 연료전지인 PEMFC는 빠른 시동 및 응답특성으로 육상분야에서 자동차 및 발전용으로 널리 사용되고 있으며, 현재까지 진행된 수소연료 추진선박 프로젝트에서도 PEMFC를 주로 사용하고 있음

### 3.2 수소 저장기술

- ▶ 선박은 수소를 연료로 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 수소를 대용량으로 운송하여야 하므로 다양한 수소 저장기술이 연구되고 있음
  - 수소를 저장하는 방법은 고압수소, 고체수소(수소저장합금 등), 액상수소 저장(LOHC, Liquid Organic Hydrogen Carrier) 기술이 있음



〈그림 4〉 단위 체적당 에너지 밀도

- 현재까지 가장 보편화된 방법은 고압수소 기술로 수소 기체를 250bar 이상 고압으로 압축하여 압력용기에 저장하는 방식이므로 저장용기는 이러한 초고압을 견딜 수 있어야 하며, 육상뿐만 아니라 현재까지 진행된 대부분의 수소연료 추진선박에 적용되어 있음
- 그러나 고압수소 저장방법은 대용량 저장에는 적합하지 않아 소형 연안 선박에만 적용하는 것이 적절할 것으로 판단됨
- 고체 수소 저장기술은 수소를 수소 저장합금, 금속수소화물 및 다공체에 화학적·물리적으로 흡착시켜 저장하는 방법으로 수소저장합금이 가장 보편화되어 있으며 육상 수소 저장시스템 및 잠수함에 적용되고 있음
- 중대형 선박 및 수소 운송선에서의 수소 사용을 위해서는 대용량 수소 저장에 보다 적합한 액화수소 및 LOHC에 대한 연구 개발이 이루어져야 할 것으로 판단됨

[표 4] 수소 저장방법의 장·단점

수소 저장방법	장점	단점
고압수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고압(250bar 이상) 가스용기로서 상용화 많이 진행됨</li> <li>• 압력만 낮추어 연료를 공급하면 되므로 연료공급시스템이 간단함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고압으로 주로 실린더 형태로써, 에너지 저장 밀도가 낮음</li> </ul>
고체수소 (수소 저장합금 등)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체적당 수소 저장 밀도가 높음</li> <li>• 저장 안정성이 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단위 무게당 수소 저장 밀도가 낮음</li> <li>• 저장 소재가 열화되어 저장 횟수가 제한됨</li> </ul>
액화수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단위 무게 및 체적당 에너지 저장 밀도가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -253℃에서 보관하여야 하므로 단열 필요</li> <li>• 액화 에너지 소모됨</li> <li>• BOG가 발생하여 보관이 까다로움</li> </ul>
액상수소유기물 수소저장체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체적당 저장 밀도가 높음</li> <li>• 저장 안정성이 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 저장 및 탈수소화 반응을 위한 에너지가 소모됨</li> </ul>

### 3.3 전기추진시스템

- ▶ 수소연료 추진선박은 내연기관이 아닌 연료전지로부터 생산된 전력을 이용하여 추진하게 되므로, 이를 위한 전기추진시스템이 필요함. 연료전지 발전시스템의 계통 연계 운전을 위해서는 연료전지의 저전압 출력을 승압하고 운전점 변화에 따른 직류 전압 변동을 일정 직류 전압으로 변환해 주는 직류-직류 변환기(DC-DC 컨버터)와 그 적정 크기로 승압된 직류를 기존 전력 계통의 공칭 전압 크기의 주파수, 적정 전력품질을 갖는 교류 형태로 변환해 주는 직류-교류 변환기(DC-AC 인버터)를 통한 전력 변환 (Power Conditioning)과정이 필요함. 현재까지 국내 전기추진시스템의 국산화는 미진한 실정이며, 국내에서 건조 중인 전기추진 선박은 대부분 수출용으로 국내 전기추진 선박은 4척에 불과함

[표 5] 국내 전기추진 선박 현황

기간	선명	선종	방식
2009	아라온	쇄빙연구선	내연기관 발전기(MGO)
2013	에코누리	인천항만 홍보선	내연기관 발전기(LNG)
2015	Gold Green HYGEN	보트	연료전지(수소)
2016	이사부	과학조사선	내연기관 발전기(MGO)

## 4 | 결 론

- ▶ 수소 사회는 수소생산으로부터 시작하여 수소 운송 및 수소 활용을 모두 포함하는 의미로 해양 재생에너지를 활용한 수전해 방식으로 수소를 생산하고, 해양플랜트/터미널에 수소를 저장하며, 수소 운송선을 통하여 수소를 운송·공급하는 수소 밸류 체인을 생각하면 조선해양분야는 수소 사회에서 핵심 역할을 담당하게 될 것임
- ▶ 또한, 국제해운에서의 탈탄소화에 대한 관심이 급증함에 따라 연안선박 및 국제항해선박에 수소는 향후 국제해운의 탈탄소화를 달성할 수 있는 수단으로 미래 국내 조선해운분야의 경쟁력과 직결되며, 최근 '수소경제 활성화 로드맵'이 발표되고 수소 관련 법안(환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률안, 수소 안전관리 및 사업방안 법안, 수소산업 육성 법안 등)이 발의됨에 따라 수소 선박 활성화를 위한 기반이 마련되고 있음
- ▶ 수소 연료의 안전관리 체계강화를 위해 수소의 생산·저장·운송·활용 전주기에 대한 안전강화 종합대책 수립과 동시에 주요 설비(저장탱크·용기, 밸브, 배관, 압축기 등)의 제조 및 검사기준, 운영 안전관리 기준, 사고 대응 프로토콜(Protocol) 제정 등 전주기 안전기준을 글로벌 최고 수준으로 구축하는 것이 필요하며, 미국·유럽·일본 등의 수소 안전관리 제도 현황을 종합 분석하는 것이 필요함
- ▶ 해양수산부에서는 기존에 미비하였던 수소선박을 위한 안전기준 및 법안을 개발하고자 2020년부터 2024년까지 5년간 수소선박 안전기준개발사업을 추진하고 있으며, 해당 사업의 목표는 수소의 선박으로의 적하역, 병커링에서부터 선내 수소 저장 및 선내 수소 활용에 대한 안전기준 개발임
- ▶ 사고 발생 시 해상사고의 특성상 즉각적인 대응이 어려우므로 미래 수소선박 경쟁력 확보를 위해서는 안전기준 개발이 반드시 필요하며, 단순 성능 위주의 R&D에서 벗어나 수소선박 핵심 요소기술의 안전성능 검증을 통해 수소선박의 안전 경쟁력을 확보함으로써 조속한 상용화를 촉진할 수 있을 것으로 기대함

## 참고문헌

- [1] 선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향, KEIT PD 이슈리포트 Vol. 19-12, 2019
- [2] 수소 사회에서의 열공학 기술, 대한기계학회 뉴스레터 Vol. 59, No. 11, 2019
- [3] 수소경제 활성화 로드맵 보도자료, 산업통상자원부, 2019
- [4] 2018 Annual Merit Review and Peer Evaluation Report, 미국 에너지부, 2018
- [5] 수소사회 실현을 위한 글로벌 연료전지 시장 동향 및 기술개발 전략, CHO Alliance, 2019
- [6] <https://www.chiyodacorp.com/en/service/spera-hydrogen/>, 2020년4월16일 접속
- [7] [http://www.khnt.co.kr/html/business/leisure\\_02.html](http://www.khnt.co.kr/html/business/leisure_02.html), 2020년4월16일 접속
- [8] <http://www.hystra.or.jp/en/project/>, 2020년4월16일 접속

본 이슈리포트는 해양수산 관련 이슈의 기술 동향에 대하여 전문가가 작성한 보고서이며, 해양수산과학기술진흥원의 공식전해가 아님을 알려드립니다.

#### 수소연료 추진선박 관련 기술동향

발 간 일 2020년 4월 20일

발 간 처 해양수산과학기술진흥원

주 소 (06775) 서울특별시 서초구 마방로 60 8, 9, 10층(양재동, 동원에프앤비빌딩)

전 화 02-3460-4000

홈페이지 [www.kimst.re.kr](http://www.kimst.re.kr)



# 이슈리포트

수소선박



해양수산과학기술진흥원  
Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion