

---

2021-01 한국은행 경남본부

---

# 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안 – 경남지역을 중심으로

김성수\* · 최영우\*\*

2021. 07.

본 연구보고서는 한국은행 경남본부가 “지역본부 외부연구용역 수행지침”에 의거, 내부 심의를 거쳐 선정된 공동연구과제에 대해 외부전문가를 대상으로 공모하여 경북대학교 경영학부 김성수 교수와 공동연구용역 계약을 체결, 수행한 것으로서 연구내용은 공동 집필자(한국은행 공동연구자: 최영우 과장) 개인의 의견이며 한국은행의 공식 견해를 나타내는 것은 아님

---

\* 경북대학교 경영학부 부교수(Email: sungukim@knu.ac.kr)

\*\* 한국은행 경남본부 경남기획조사팀 과장(cyw@bok.or.kr)

# 차 례

## <요 약>

### I. 연구의 개요

1. 연구 배경
2. 연구의 필요성과 목적

### II. 조선업 현황

1. 일반 현황
2. 경남지역 조선업 현황

### III. 친환경선박 현황

1. 친환경선박 개요
2. 친환경선박 현황
3. 친환경 선박연료

### IV. 수소선박의 개요

1. 수소선박의 개념
2. 수소선박의 구성
3. 수소선박 개발 동향

### V. 경남지역 수소선박산업 육성방안

1. 단계별 전략 제시의 필요성
2. 경남지역 수소선박산업 여건
3. 경남지역 수소선박산업 육성 전략
4. 기간별 수소선박 포함 친환경선박 핵심기술 R&D 목록
5. 수소선박 외 무탄소선박산업 병행육성 필요성

### VI. 정책 제언

## 〈요 약〉

대부분의 현존 선박은 화석연료를 사용해서 내연기관에서 얻은 동력으로 추진하기 때문에 질소산화물, 황산화물, 이산화탄소 등 오염물질과 온실가스 배출이 많다. 국제해사기구(IMO)가 2030년 이후 발주하는 선박에 대해 2008년 발주 선박 대비 탄소 배출량을 40% 감축하고 2050년에는 50%까지 감축하도록 결정함에 따라 선박에서 발생하는 온실가스를 획기적으로 줄이기 위해서는 저탄소, 무탄소 등 탄소배출을 줄일 수 있는 대체연료와 친환경 선박으로의 전환이 필요하다.

미래에 해운과 조선 시장에서 친환경기술을 선도하고 새로운 산업과 시장을 창출하기 위해서는 수소연료전지추진선박(수소선박)이나 암모니아연료추진선박과 같은 친환경선박기술 개발 및 보급이 절실하다. 우리나라는 LNG추진선이나 전기선박과 관련해서 저장, 공급, 추진기술을 일부 보유했으나 이를 고도화하고 기자재를 국산화해야 할 필요성이 있고, 수소나 암모니아추진선과 같은 무탄소선박의 경우는 기술개발이 아직 초기 단계이다.

국제해사기구(IMO)는 갈수록 강화되는 환경규제에 따라 선박 발주기준이 기존의 비용에서 환경과 기술로 변화하고 있음을 지적하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 한국 조선업의 세계 1위 수성 및 경쟁국과의 기술격차 유지, 경남지역 조선업 활성화를 통한 지역경제 활성화를 위해 경남지역의 수소선박을 포함한 친환경선박 산업 육성방안을 제시하고 있다. 또한, 단편적인 기술개발이나 보급 정책을 지양하고 중장기적인 시각에서 단계별로 체계적인 산업육성 방안 및 개발 필요 핵심 기술 목록을 제시하고자 하였다.

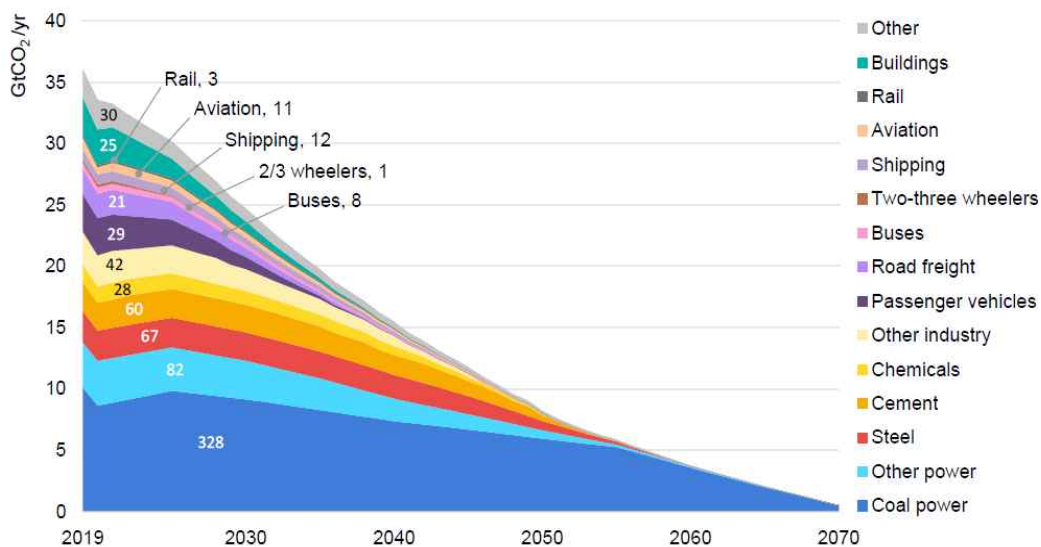
# I. 연구의 개요

## 1. 연구 배경

### 가. 해운분야 온실가스 환경규제 강화와 조선·해운시장 패러다임 전환

2021년 7월 14일 EU는 2023년부터 철강, 알루미늄, 비료, 시멘트, 전기 등의 품목에 탄소국경세(CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism: 탄소국경조정제도)를 도입하고 2030년 EU의 평균 탄소 배출량을 1990년 수준의 55%까지 줄이겠다는 환경대책종합방안(Fit for 55)을 발표하며 온실가스 배출 증가에 따른 기후변화에 적극적으로 대응하고 있다. 온실가스 배출 증가로 야기된 지구온난화로 해마다 폭염, 홍수, 폭설, 태풍과 같은 이상기후 현상의 발생 빈도가 증가하고, 그 강도도 커지고 있다. 이는 글로벌 에너지 전환 추세를 가속화하고 있는데, 2015년 12월 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 파리협정은 지구 온도를 산업화 이전 대비 1.5℃ 상승으로 억제하기 위해 모든 당사국에 2020년 12월까지 「2050 장기저탄소 발전전략(LEDs, Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies)」 제출을 요구하였다. 이에 따라 EU(2019.12), 중국(2020.09), 일본(2020.10), 한국(2020.12) 등 주요 국가들은 2020년 말까지 앞다퉈 LEDs 제출을 마치고 탄소중립(NZE: Net Zero Emissions)을 선언하였다. 2020년 말 기준으로 탄소중립을 선언한 전 세계 국가의 수는 70여 개에 달한다.

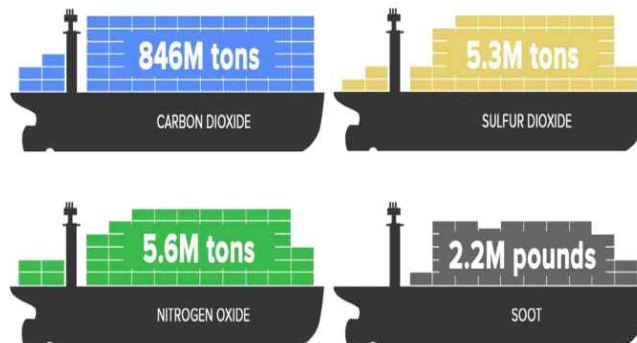
<그림 1> 전 세계 기존 에너지 기반 시설별 CO<sub>2</sub> 배출량 전망, 2019-2070



자료 : IEA, Energy Technology Perspectives 2020

지속 가능한 성장을 위하여 모든 산업부문에서 탄소를 배출하는 화석연료의 탄소 배출이 없거나 적은 친환경 대체연료로의 전환이 요구되고 있다. 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 기존 시설의 수명 등을 고려할 때 향후 50년간 세계 온실가스 배출 누적량은 최대 750GtCO<sub>2</sub>에 이를 것으로 전망하고 있다. 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 2100년까지 2010년 대비 3배가 늘어나고, 2050년 국제해운에서의 CO<sub>2</sub> 총배출량은 2012년 대비 최소 50%에서 최대 250%까지 증가할 것으로 전망된다(Climat Change 2014 Synthesis Report). IEA에 따르면 2016년 기준 세계 이산화탄소 배출량 323억 톤 가운데 해상 병커유가 차지하는 비율은 2.1%로 약 6억8천만 톤 수준이다. 해상운송은 2020년 기준 전 세계 에너지 부문 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 2.5%인 830MtCO<sub>2</sub>를 배출하였으며 이 수치는 2019년 기준의 880MtCO<sub>2</sub>에서 조금 줄어든 수준이다. 이산화탄소 이외에도 선박 운항의 결과 대기로 배출되는 오염물질에는 황산화물과 질소산화물 등이 있다. 전 세계 발생량을 기준으로 해운업에서 발생하는 황산화물은 전체 배출량의 약 13%, 질소산화물은 약 12% 수준이다.

<그림 2> 선박에 의해 배출되는 대기오염물질 종류와 양



자료 : IMO

EU의 경우 해운 분야의 탄소 배출량은 EU 총배출량의 13%를 차지하며, EU의회는 2020년 9월에 2022년부터 EU회원국 경제해역 내의 항만에 기항하는 5,000GT 이상의 모든 선박에 대하여 배출권 거래제(ETS, Emission Trading Scheme) 적용을 의무화하는 안을 통과시켰다. EU는 해운 분야의 탄소 배출량을 줄이기 위해 3단계 감축 전략을 제시하고 있는데 (1) 선박 CO<sub>2</sub> 배출량 보고 강제화, (2) 해운분야 감축 목표 설정, (3) 선박 감축 조치의 시행을 그 내용으로 한다. 특히, EU는 국제해사기구(IMO)에서 2023년까지 조치가 없을 경우 EU Shipping ETS를 도입할 것을 선언하였다.

해운업의 경우 적용 가능한 저탄소 옵션이 부족하고 선박의 수명이 보통 25~35년 이기에 해운업은 2050년까지 탄소 중립을 달성할 수 없는 교통수단 중 하나로 꼽힌다. 그럼에도 불구하고 2050년 탄소 중립을 위해 노력한다면 해운업에서의 탄소 배출량은 2050년까지 연평균 6%씩 감소하여 120MtCO<sub>2</sub>가 될 것으로 IEA는 2021년 전망했다. 목표 달성을 위해서는 단기적으로는 선박의 속도를 늦춰 배출량을 줄이고 풍력 등을 활용하는 방안을 생각해 볼 수 있고, 중장기적으로는 화석연료를 바이오연료, 수소, 암모니아 등의 친환경 대체연료로 전환할 필요가 있다.

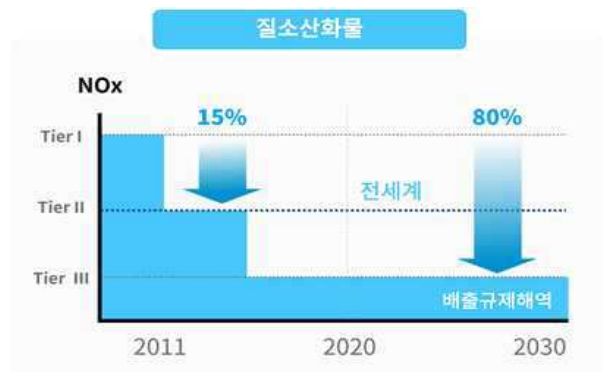
## 나. 해운조선업의 탈탄소 및 탄소중립 동향

### (1) 국제 환경규제 및 관련 정책 동향

2021년 6월 국제해사기구(IMO)는 선박 부문 탄소 배출량을 2050년까지 2008년 대비 70%, 온실가스 배출량을 2030년까지 40%, 2050년까지 50% 저감하는 것을 목표로 설정하고 2023년부터 2026년까지 연간 2%씩 탄소 배출량을 감축하는 안을 채택하였다. 아울러, IMO는 2019년 1월부터 회원국의 항만을 입출항하는 선박에 온실가스 감축을 위한 리포트 제출을 강제하는 'IMO-DCS(Data Collecting System)' 규제를 시행하고 있다. 또한, IMO는 IMO2020에 따라 2020년부터 황산화물 함유량 기준을 0.5%(기존 3.5%)로 강화하고, CO<sub>2</sub>는 2008년 대비 20%(기존 10%) 감축하도록 규제하고 있다. IMO는 산하 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)를 통해서 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출 감축 및 선박 평형수 처리장치 부착 등의 다양한 환경규제 도입을 추진하고 있다.

IMO의 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출규제 현황을 보면 선박 건조 시기 및 해역 위치에 따라 규제내용을 Tier I, II, III로 구분하고 있다. 2008년 MEPC 58차 회의에서 결정된 사항은 다음과 같다. 2000년 1월 1일 이후 발효된 질소산화물 규제인 Tier I 수준보다 15~20% 줄인 Tier II 규제는 2011년 1월 1일 이후로 발효하기로 하였다. 그리고 Tier I을 기준으로 80%를 감소시킨 Tier III는 2016년 1월 1일 이후 발효하기로 하였다. 현재는 Tier III 기준에 따라 질소산화물 배출을 규제하고 있다.

<그림 3> IMO의 질소산화물 규제 현황

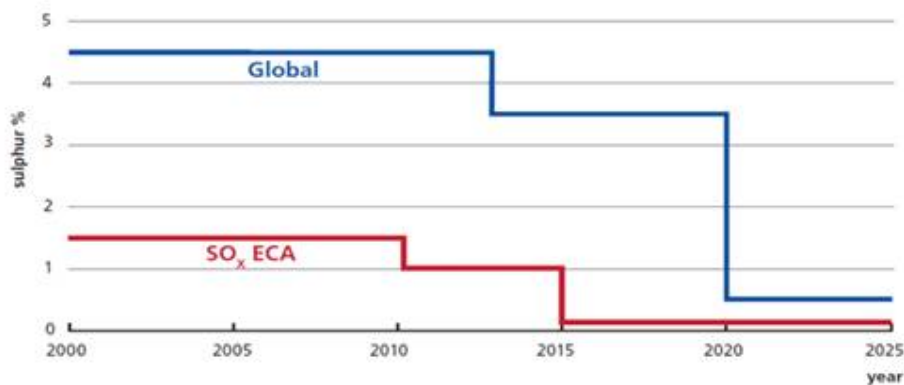


자료 : 탈탄소 선박 추진전략 보고, 한국해양교통안전공단, 2021

지난 30년간 세계 해운 물동량은 3배 이상 증가하였으며, 선박 연료유는 전체 수송용 석유 수요의 7%를 차지하고 있다. 또한, 해운 부문에서 배출하는 유해가스 중 하나인 황산화물은 전 세계 배출량의 12%를 차지하고 있다. IMO의 황산화물(SO<sub>x</sub>) 배출규제 현황을 보면 2020년 1월 1일부터 선박 연료유에 포함된 황 함유량의 기준

을 기존의 3.5% 이하에서 0.5% 이하로 강화하였다. 또한, 유럽 북해와 발트해, 미국과 캐나다 동서부 해안 등에 ECA(Emission Control Area, 배출규제해역)를 지정하여 2015년부터 황함유량 상한선을 기존의 1%에서 0.1%로 강화하여 시행 중이며, ECA 지역 이외에도 EU와 중국에서는 이와 같은 규제를 시행하고 있다. 황함유량 기준이 3.5%이면 선박용 HFO(Heavy fuel oil, 중유)를 연료로 사용할 수 있으나, 0.5% 수준을 만족하기 위해서는 황산화물 저감장치인 스크러버를 장착하여 기존처럼 HFO를 사용하거나 LNG 혹은 고가의 저유황유를 사용해야 한다. 스크러버 장착은 선박의 크기에 따라 개조 비용으로 수백만 달러까지 소요될 수 있으나 기존의 값싼 벙커유를 그대로 사용할 수 있다는 점에서 가장 경제적인 대안이다. 하지만 스크러버는 공기 중으로 배출되는 황산화물을 바닷물에 용해시켜 저감하기에 해양 환경오염의 논란이 있다. 따라서, 많은 국가에서 스크러버 장착을 규제하고 있고, 가장 경제적인 대안임에도 불구하고 스크러버로 황산화물 규제에 대응하는 선박의 비중은 10% 내외에 불과하다. 기존 선박에 LNG를 사용하는 경우는 개조 비용이 많이 들어 거의 채택되지 않고, 대략 90%의 선박은 MGO(Marine Gasoil)와 같은 저유황유를 사용하고 있다. MGO의 가격은 2021년 5월 기준으로 HFO보다 약 45% 높다.

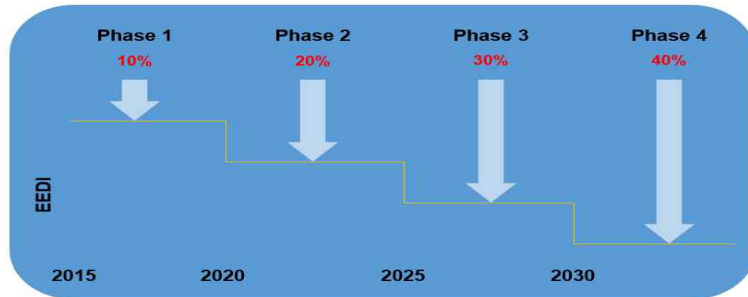
<그림 4> IMO의 황산화물 규제 현황



자료 : 탈탄소 선박 추진전략 보고, 한국해양교통안전공단, 2021

IMO의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출규제를 보면, 2018년 4월 IMO 제72차 MEPC에서 CO<sub>2</sub> 배출량을 2030년까지 2008년 대비 40%, 2050년까지 70% 감축하기로 하였으며, 국제해운부문 연간 온실가스 배출 총량을 2050년까지 2008년 대비 50% 감축하기로 하였다. 신조선의 경우 이산화탄소 배출량을 2015년부터 적용된 1단계에는 2008년 대비 10%, 2020년부터는 2단계인 20%, 2025년부터는 3단계인 30%, 2030년부터는 4단계인 40% 감축해야 한다. 현존선인 경우 2023년 1월부터 20% 감축 기준에 미달한 선박의 운항을 금지하는 규제가 도입될 것으로 예상된다.

<그림 5> 국제해사기구(IMO) 에너지효율설계지수(EEDI) 규제 타임라인



자료 : 탈탄소 선박 추진전략 보고, 한국해양교통안전공단, 2021

이러한 상황에서, 전체 온실가스 감축량의 80%를 수소나 암모니아 연료 선박으로 대체하여 목표를 달성할 필요가 있음이 주장되는 등 향후 친환경 수소 또는 암모니아추진 선박의 수요 증가가 예상된다(LNG선의 감축 기여는 약 20% 수준). 2019년 5월 MEPC 74차 회의에서는 20만 DWT(Dead Weight Tonnage, 재화중량톤수)<sup>1)</sup> 이상인 대형 컨테이너선에 대한 CO<sub>2</sub> 감축량 규제를 기존의 '2025년까지 30% 감축'에서 더 앞당겨 '2022년까지 50% 감축'으로 강화할 것을 결의하였다. 또 2021년 6월 MEPC 76차 회의에서 EEXI<sup>2)</sup>와 CII(탄소집약도, Carbon Intensity Indicator) 등급제<sup>3)</sup>를 통한 규제 도입을 결의하여 결과적으로 노후선은 운항속도를 크게 감속해야 한다. EEXI 규제는 2013년 이후 신조에만 적용되었던 선박 에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)<sup>4)</sup>를 모든 선박<sup>5)</sup>에 확대 적용하는 규제이다. 즉, 2023년부터 운항하는 모든 선박은 2013년에 건조된 선박과 마찬가지로 이산화탄소 배출을 20% 감축해야 한다. EEXI 기준을 충족하지 못하는 선박은 엔진의 출력을 제한하여 운항속도를 늦추거나 에너지 절약장치를 설치, 또는 개조를 통해서 탄소배출을 줄여야 한다. 현재 운항하는 선박의 80% 이상이 EEXI 규제를 통과하지 못할 것으로 예상됨에 따라 감속 운항이 불가피할 전망이다. CII 등급제는 연료 소비 실적 보고 제도(DCS, Data Collection System)<sup>6)</sup>를 근거로 1년간의 연료 소비량 및 항해 거리 데이터를 측정해서 매년 선박의 탄소 배출량을 A부터 E까지 5개의

1) 선박이 적재할 수 있는 화물의 중량으로, 연료, 식량, 용수, 음료수, 창고품, 승선원 등의 무게를 포함함  
 2) Energy Efficiency Existing ship Index의 약자로 선박별 연비 성능 지표인 현존 선박 에너지효율지수를 의미함. EEXI 규제는 신조선에만 적용되는 EEDI와 동일한 규제 기준을 기존선에도 요구하는 규제로 2023년부터 시행이 확정됨. 규제를 충족하지 못하는 기존 선박의 경우 운항속도의 감속, 개조, 연료 변경 등을 선택할 수 있으나 현실적으로는 운항속도 감속이 유일한 대안으로 꼽히고 있음  
 3) 선박이 실제로 운항하며 배출하는 온실가스의 양을 선박의 톤수(dwt)와 거리(nautical mile)당 값으로 환산한 수치를 기준으로 매년 각 선박에 등급을 부여하고 제재하는 운항적 조치  
 4) CO<sub>2</sub> 배출량 지표로서 화물 1톤을 1해리(nautical mile) 운송하는데 배출되는 이산화탄소의 질량으로 설계상 도출되는 지수임. EEDI는 2013년 이후 건조되는 400GT 이상의 신조선에 적용되었던 규제이며, 구체적으로 2008년 이산화탄소 배출량을 기준으로 Phase 0(2013-2015)은 0% 감축, Phase 1(2015-2020)은 10% 감축, Phase 2(2020-2025)는 20% 감축, Phase 3(2025-)은 30% 감축하는 것을 규정함. 2025년 시행이 예정된 Phase 3은 일부 선종에 대해서 2022년 조기 시행이 확정되었으며, 탄소배출량이 많은 선종의 경우는 기존선 대비 50%까지 강화됨  
 5) 400 GT 이상의 국제항해에 종사하는 선박을 대상으로 함  
 6) 2019년부터 시작된 IMO의 데이터 수집 시스템으로 5,000GT 이상의 국제항해 선박은 매년 운행데이터를 IMO DCS에 보고하도록 의무화. 2023년부터는 CII 달성값도 함께 보고하도록 의무화되었음



등급으로 분류하는 제도로 국제항해에 종사하는 5,000GT 이상 선박이 대상이다. 만약 D등급을 3년 연속으로 받거나 최저등급인 E등급을 한 번이라도 받으면 연비 개선계획을 포함한 선박에너지효율관리계획서(SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan)를 기국에 제출하여 확인 후 인증서를 받고 운항하여야 하며, 제출한 계획에 따라 연비개선이 이루어지지 않으면 인증서를 받지 못하게 되어 결국 그 선박은 퇴출당하게 된다. 그리고 그 기준은 1단계(2022-2023년)에 5%가 강화되고, 2단계인 2024년부터 2026년까지는 연간 2%씩 강화된다.

<그림 6> 국제해사기구(IMO) 온실가스 타임라인



자료 : 2030 한국형 친환경선박 추진전략(2020. 12)

<그림 7> MPEC 76차에서 채택된 CO2 규제 계획(2021.6)(현존선 규제안 2023년 발효)

| 규제          | 09      | 10                    | 11 | 12                        | 13 | 14      | 15 | 16  | 17 | 18 | 19 | 20                | 21E | 22E     | 23E | 24E                        | 25E | 26E | 27E | 30E  | 40E  |
|-------------|---------|-----------------------|----|---------------------------|----|---------|----|---|----|----|----|-------------------|-----|---------|-----|----------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| BWTS (평형수)  | 규제 단계   | 관리협약 채택 및 기준 검토 기간    |    | Phase 1 (신조선)             |    |         |    | Phase 2<br>현존선 '16년 1월부터 D/D2 장착 의무화 (24년 9월 8일 까지) |    |    |    |                   |     |         |     |                            |     |     |     |      |      |
| 질소산화물 (NOx) | 규제 단계   | Tier 1                |    | Tier 2 (Tier 1 대비 15% 감축) |    |         |    | Tier 3 (Tier 1 대비 40% 감축)                           |    |    |    |                   |     |         |     |                            |     |     |     |      |      |
|             | 규제 지역   | 전 해상                  |    |                           |    |         |    | ECA 지역  |    |    |    |                   |     | NECA 지역 |     |                            |     |     |     |      |      |
| 황산화물 (SOx)  | SECA 지역 | 1.0% 이하               |    | 0.1% 이하                   |    |         |    |   |    |    |    |                   |     |         |     |                            |     |     |     |      |      |
|             | 전 해상    | 4.5% 이하               |    | 3.5% 이하                   |    | 0.5% 이하 |    |   |    |    |    |                   |     |         |     |                            |     |     |     |      |      |
| 이산화탄소 (CO2) | 신조선     | 관리협약 채택 및 기준 검토 기간    |    | Phase 0 (현행유지)            |    |         |    | Phase 1 (-10% 절감)                                   |    |    |    | Phase 2 (-20% 절감) |     |         |     | 현선, LNG선 Phase 3 (-30% 절감) |     |     |     | -40% | -50% |
|             | 현존선     | EEXI와 CII (SEEMP 강화화) |    |                           |    |         |    |   |    |    |    |                   |     |         |     | Block, 탱커 Phase 3          |     |     |     |      |      |

자료 : 하이투자증권, 2021.6

국제해사기구의 해양환경규제와 더불어 주요국들은 배출규제해역 지정 등 강화된 환경규제를 도입하고 있다. 미국과 EU는 미국 연안 200해리 이내와 카리브해, 북해 및 발틱해를 배출규제해역(ECA, Emission Control Area)으로 지정하고, ECA를 운항하는 선박은 강화된 황 함유량(0.1%)과 질소산화물(2000년 발효 Tier I 대비 80% 절감) 기준을 따르도록 규제하고 있다.

호주는 내항항선을 대상으로 NOx 배출규제를 시행하고 있다. 구체적으로 130kW 이상의 출력을 보유한 디젤 엔진을 대상으로 2011년 1월 1일 이후 신조 또는 주요 개조를 거친 선박에 Tier II 규제를 적용하고 있다. 중국은 2021년 7월부터 탄소배출규제인 China's Stage II 규제를 발효하고 있는데, 내수면·연안, 내항 벌크선, 피더선, 유조선, 관공선 등에 적용되며, NOx와 탄화수소뿐만 아니라 미세먼지도 함께 규제하고 있다.

## (2) 국내 환경규제 및 관련 정책 동향

우리나라 해운 및 어업부문의 온실가스 배출량은 2017년 기준으로 약 1,181만 톤이다. 배출량 중에서 국내 해운이 133.4만 톤, 어업이 276.6만 톤으로 국내가 전체의 35%인 410만 톤, 그리고 국제해운이 65%인 약 771만 톤을 차지하고 있다(2019년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2017) 보고서). 2016년 11월과 2018년 7월에 수립된 정부의 온실가스 감축 로드맵을 보면 친환경선박 도입과 육상 전원공급장치(AMP) 사용 확대, 노후기관 대체, 전기추진어선 보급 등을 통해 2030년 온실가스 예상배출량 대비 해운부문은 19.1만 톤(15.1%), 어업부문은 2만 톤(0.7%)의 감축 목표를 제시하였다. 또한, 정부는 2020년 12월 15일에 발표한 「2050년 장기저탄소 발전전략(LEDSS)」에서 '2050 국가 탄소중립' 목표를 실현하기 위해서 2050년까지 선박이 배출하는 온실가스의 양을 2017년 대비 50%인 593만 톤 감축하는 것을 목표로 제시하였다. 갈수록 강화되는 해운조선업에서의 국제환경기준 강화에 따른 범국가적인 대응이 필요하다.

국내 조선 및 해운 산업과 관련하여 시행 중인 환경규제와 정책을 정리하면 다음과 같다.

- ① 해양환경관리법의 '선박에서의 오염방지에 관한 규칙' 제32조 질소산화물의 배출규제
- ② 친환경 선박법(제정안)<sup>7)</sup> 시행(2018년 12월 31일 제정, 2020년 1월 1일 시행)
- ③ 항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법 시행(2019년 4월 2일 제정, 2020년 1월 1일 시행)
- ④ 해양환경관리법 시행령(2021년 1월 5일 시행)

정부는 2020년 1월 1일부터 선박의 연료유 황 함유량 기준을 기존의 3.5%에서 0.5%로 대폭 강화하였다. 2020년 9월 정부는 「황산화물 배출규제해역(ECA; Emission Control Area)」을 지정 고시하여 일반 해역보다 강화된 규제기준을 적용하기 시작했다.

정부는 친환경선박 관련 지원책으로 2018년 11월 「조선산업 활력제고 방안」을 통해 친환경 및 자율운항선박 개발 및 보급 지원 계획을 발표했다. 구체적으로 금융, 고용 등의 애로 해소와 더불어 중소형 친환경 선박 시장 창출을 위한 친환경선박, 설비 보급 확대 지원(2025년까지 1조 원 지원) 및 중소 LNG 추진선 발주

7) 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률

(2025년까지 2조8천억 원) 계획을 제시하였고, 중장기 경쟁력 제고를 위해 자율운항 선박 개발, 스마트조선소 도입 확대(1조 6천억 원) 계획을 밝혔다.

<그림 8> 조선산업 2050 탄소중립 연구개발(R&D) 핵심 추진전략



자료 : 조선업계, 2050 탄소중립 실현 핵심기술 개발 본격 추진(산업통상자원부, 2021.7.1.)

또한, 해양수산부는 2019년 10월에 2030년까지 소속 관공선(총 140척)을 LNG 추진선 등 친환경 선박으로 대체하기 위한 「2030 친환경 관공선 전환 계획」을 수립하여 발표했다. 2020년 1월 1일부터 시행된 「친환경 선박법」에 따라 정부 및 지자체 등의 공공 선박은 의무적으로 LNG 또는 전기 추진선과 같은 친환경 선박으로 전환해야 한다. 아울러, 해양수산부는 2020년 1월부터 「수소선박 안전기준개발 사업」공모를 통해 국내외 기술표준 수립을 추진하고 있다. 2020년 12월 정부는 「2050 탄소중립 추진전략」과 그린뉴딜 및 탄소중립을 위한 「친환경선박 중장기 계획」을 수립한 후 「2030 한국형 친환경선박 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획(‘21~’30)」의 발표를 통해 LNG 등 저탄소연료에서 수소 및 암모니아 등 무탄소연료로의 전환을 위한 친환경선박 개발·확산 및 항만 인프라 구축 방안을 제안하고 있다. 2021년 4월에는 산업통상자원부와 조선업계, 산·학·연 협의체로 구성된 「조선산업 탄소중립위원회」를 출범하고, 「2050 탄소중립 도전 공동선언문」을 채택하였다. 2021년 7월에는 제2차 「조선산업 탄소중립위원회」를 개최하여 2050 탄소중립을 실현하기 위해 조선산업이 추진해야 할 핵심기술개발 전략 등을 논의하였다. 정부는 2022년부터 ‘친환경 선박 전주기 혁신 기술개발사업’ 추진을 계획하고 있다. 해양수산부의 2019년 전망을 보면 선박용 수소연료전지는 2025년부터 본격적으로 상용화가 시작되어, 2030년경에는 전체 선박용 연료의 30%가 될 것으로 전망된다. 정부는 2021년 3분기에 「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」 수립을 통해 온실가스 배출의 최종목표와 달성계획을 제시할 계획이다.

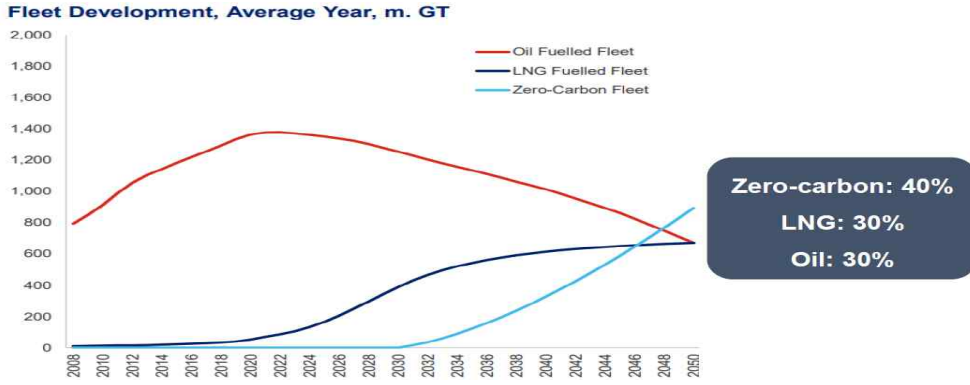
## 2. 연구의 필요성과 목적

해운조선업에서의 환경규제가 갈수록 강화되고 있다. 2016년부터 발효된 파리협정은 지구 온도 상승을 산업화 이전 대비 2°C 상승 이하로 제한하고 1.5°C 상승을 목표로 하고 있다. IMO가 감축 초기전략을 채택함에 따라 미국, EU, 일본 등을 중심으로 강력한 환경규제가 시행되고 있으며, IMO는 2050년까지 전체 선박 연간 온실가스 배출량의 50% 이상 감축을 목표로 제시하였다. 강화되는 환경규제에 대한 대응으로 해운조선업의 에너지 패러다임도 변화하고 있다. Clarkson은 강화되는 환경규제에 대한 대응으로 LNG 45%와 무탄소연료 40%, 화석연료 15%의 연료공급 포트폴리오를 제시하고 있고, 글로벌 신조선 중 친환경 연료 비중은 2023년 45%, 2030년 98%로 확대될 것으로 전망했다. DNV-GL은 2050년 수소, 암모니아 등의 무탄소연료를 사용하는 선박이 전체의 39%까지 차지할 것으로 전망하였다. EU는 친환경선박 시장이 2030년까지 최대 161조 원 규모로 성장할 것으로 전망하고 있다. 한편, 변화에 대한 선제적 대응으로 BP나 Shell 등 글로벌 오일회사와 MAERSK 등 글로벌 해운사는 IMO 온실가스 감축 전략보다 이른 2050년까지 탄소배출 제로를 달성할 것을 선언하였다.

선박에 대한 친환경기술 적용이 늘어나고 주요국의 온실가스 배출 규제지역이 확대되는 등 친환경선박의 운항 요구가 증가하고 있어, 수소선박과 같은 환경친화적이고 에너지 절감이 가능한 선박 보급의 필요성이 증가하고 있다. 환경규제에 대한 세계정기선 업계의 대응은 2019년 6월 기준으로 저유황유 사용이 62%, 스크러버(탈황설비) 설치가 36%인 반면 LNG연료 사용은 2%에 머무르고 있다. 하지만, 국제 환경규제의 강화로 선박연료의 가스화가 가속화되면서 LNG를 연료로 하는 선박이 증가하는 추세인데, 선박에서의 LNG연료 사용은 기존의 벙커C유에 비해 황산화물 배출량은 90% 이상, 질소산화물은 80% 이상, 이산화탄소는 15% 이상 줄일 수 있다. LNG 추진 선박의 문제로는 신규 건조비용이 평균 2,300억 원으로 비싼 편이고, 새로 LNG 인프라시설을 구축해야 하는 어려움이 있다는 점을 들 수 있다. 아울러, 평균 선박 수명이 20년에서 30년임을 감안할 때 환경규제가 더욱 강화될 2050년에는 지금 건조하는 LNG추진선도 노후선박이 될 것이다.

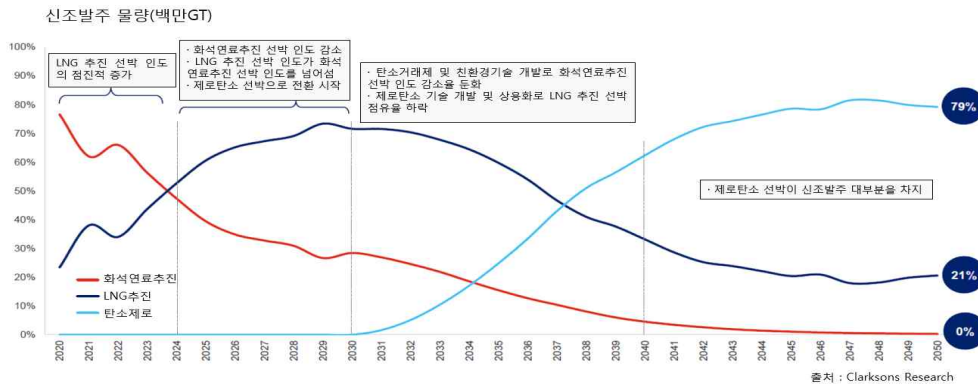
우리나라 조선산업의 현황을 보면 조선업 수출액은 2011년 이후 연평균 13% 감소하여 2019년에는 212.8억 달러에 그쳤다. 2021년 들어 코로나19 팬데믹 이후 글로벌 경제의 회복에 따른 교역량 증가와 해운회사의 운항 가능한 선박량 감소, 환경규제 강화에 따른 신조선 발주 증대로 조선업 반등 및 경기 회복에 대한 기대감이 조성되고 있다. 한국 신조선 발주량은 2016년부터 2017년까지 수주절벽을 경험하다가 2018년 반등하였으나 이후 지속해서 하락하였다. 그러나 최근에는 2021년 1분기에 전년 동기 대비 867.5% 증가한 532만 CGT를 기록하며, 기저효과를 감안하더라도 업황이 크게 회복된 것으로 평가된다. 3대 조선산업국 중 한국과 중국의 수주 점유율 비중이 높고, 향후 친환경 및 스마트선박의 수요 확대가 기대된다. 특히, 2021년 하반기 카타르 등의 LNG선 대량 발주가 예상되고, 향후 유럽 ETS(온실가스배출권거래제) 등 해상 환경규제 논의가 구체화됨에 따라 노후선 교체에 대한 수요가 증가할 것으로 예상된다.

<그림 9> 탈탄소화 시나리오: 전체 선박 전망



자료 : Clarkson Research

<그림 10> 탈탄소화 시나리오: 신조발주 선박 전망



자료 : 탈탄소 선박 추진전략 보고, 한국해양교통안전공단, 2021 (원자료: Clarkson Research)

우리나라 조선업은 산업 규모는 크지만, 핵심 기술력에서의 높은 해외의존도로 LNG추진선, 수소연료전지선박 등 친환경·스마트 선박기자재산업의 기술 개발은 미흡한 실정이다. 대형 조선업체들도 현재 엔진이나 전기전장품 등 핵심 선박기자재는 노르웨이, 일본, 독일 등지에서 수입하고 있다. LNG운반선 건조의 경우 우리나라는 세계 최고의 경쟁력을 갖고 있다고 평가되지만, 관련 기자재나 부품산업의 독자기술 확보 수준은 낮은 편이다. 이의 근본 원인은 대형조선소와 부품·소재산업 간의 불균형 성장이 지적되고 있다. 우리나라의 입장에서는 조선 관련 소재와 부품장비 산업의 도약이 절실하다.

<표 1> 분야별 기술 수준(2019년 기준)

| 분야      | 태양광  | 풍력   | 수소·연료전지 | 스마트 그리드 | 산업효율 (FEMS) | 수송효율 (친환경차) | 이차전지 (대용량) | 원자력  | 가스 발전 |
|---------|------|------|---------|---------|-------------|-------------|------------|------|-------|
| 기술수준(%) | 87.5 | 74.0 | 78.3    | 80.0    | 67.5        | 90.0        | 80.0       | 88.8 | 57.5  |
| 기술격차(년) | 2.0  | 5.0  | 3.0     | 2.5     | 3.5         | 1.8         | 2.0        | 4.0  | 8.5   |

자료 : KISTEP; 제4차 에너지기술개발계획(안), 2019

해외 친환경선박 기술 연구 및 개발 현황을 보면 해외 각국은 친환경선박을 위한 대체연료(바이오, 수소, 배터리 등) 개발 및 에너지효율 향상을 위한 프로젝트를 경쟁적으로 수행 중이다. 대표적인 프로젝트를 꼽자면 미국의 경우 국립연구소인 샌디아국립연구소의 지원 하에 수소연료전지추진 선박 관련 연구를 수행하고 있고, EU는 Horizon 2020 해양분야 연구 프로젝트의 일환으로 친환경 선박 관련 연구를 진행하고 있다. 덴마크의 Scandlines는 소형선박 중심의 수소연료전지, 신재생에너지 선박 추진기술 시범사업을 추진하고 있다. 아직 초기 단계인 친환경 대체연료 기술을 선도하고 지적권 기반 표준을 선점할 시 신규시장에 우선 진입할 수 있고 향후 높은 성장이 기대된다. 친환경 대체연료 기술의 국산화를 통해 글로벌 시장 진입과 핵심부품 및 소재의 해외 의존도 저감, 미래시장 주도가 가능할 것이다.

<표 2> 제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획

| 구분    | 내용  |  |
|-------|---|--|
| 목표    | 미래 친환경선박 세계 선도 기술 확보  | 선박배출 온실가스 감축 및 친환경 신시장 창출                              |
| 추진 전략 | 온실가스 70% 감축기술 개발<br>(2025년 40% → 2030년 70%)                             | 친환경선박 전환율 15% 달성<br>(전환대상 3,548척 중 528척 전환)            |
| 추진 과제 | ① 미래 친환경선박 세계 선도 기술확보<br>② 신기술 확산을 위한 시험기반구축<br>③ 한국형 실증 프로젝트(그린쉽-K) 추진 | ④ 연료공급 인프라 확충<br>⑤ 친환경선박 보급 촉진<br>⑥ 친환경 선박시장 주도 생태계 조성 |

자료 : 그린뉴딜, 탄소중립을 위한 친환경선박 중장기 계획 수립(산업통상자원부, 2020. 12. 22.)

경남지역은 주요산업인 조선업의 불황으로 지역경제 부진이 이어지고 있다. 이에 대한 대응으로 지역의 조선·해운산업 및 연관산업을 중심으로 한 고부가가치 산업 생태계와 산업화 기반 마련이 시급한 실정이다. 이를 통해 조선·해양산업의 후방산업인 기자재 산업의 부흥도 함께 도모할 수 있을 것이다. 특히, 2021년 5월 경상남도는 「조선산업 활력대책」 발표를 통해 2027년까지 조선산업에 2조 원을 투입하는 계획을 발표했다. 계획의 내용을 보면 저탄소선박과 무탄소선박 산업 육성에 4,192억 원을 투입할 계획이며, 무인선박 규제자유특구 실증과 사업화에 1,280억 원을 투입해서 무인선박, 특수선박 등 차세대 선박사업을 육성하고 야드 스마트화를 추진하는 방안을 제시하고 있다.

본 연구에서는 국내 및 경남지역의 조선산업 여건과 전·후방 산업 현황 및 동향을 고려해서 경남지역이 수소선박을 포함한 친환경선박 분야 육성 밸류체인 구축을 바탕으로 탄소중립 경제로 전환하기 위한 단계별 추진전략, 전략별 세부사업 및 방안을 제시하고자 한다. 아울러, 수소선박산업 육성을 위해 필요한 핵심 R&D 항목을 도출하고 그에 필요한 자원과 지원체계, 관련 사업, 인력육성방안도 함께 제시하고자 한다.

## II. 조선업 현황

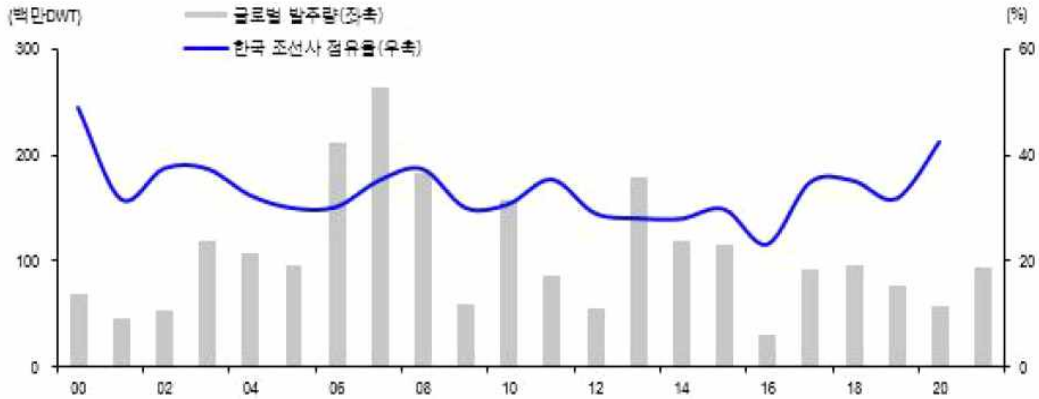
### 1. 일반 현황

조선업은 전·후방 산업과 연관 효과가 크며 노동집약적, 자본집약적이고 수출기여도가 높은 산업이다. 선종별로 시장이 형성되어 있으며, 수주에서 인도까지 통상 2년에서 3년이 소요되는 장기 프로젝트성 산업으로 자금 확보가 중요하다. 조선업의 전방산업으로는 해운·에너지·레저산업이, 후방산업으로는 철강·기계·전기전자·화학·비철금속업이 존재한다. 조선업은 선주의 발주에 의해 선박을 건조하는 주문생산방식의 산업이다. 세계시장은 단일 시장이기 때문에 전방산업인 해운업 업황에 영향을 많이 받는데, 해운업은 세계 경기, 해상 물동량, 유가, 국제 원자재 가격 및 수요 등에 민감하게 반응한다. 국내 조선업은 취약한 산업구조로 되어있어 경쟁국보다 해외 선박 수요 변동에 더 민감하다. 2017년 기준으로 국내 신규수주량 중 자국 발주 비중은 19.1%에 그쳐 일본의 57.3%, 중국의 30.1%보다 낮다(산업통상자원부, 2018). 2021년 상반기를 기준으로 하더라도 한국 조선소의 자국선 수주 비중은 21% 수준에 그치고 있다. 이는 전방산업인 해운업 규모가 축소되는 등 국내업체로부터의 선박 수주 비중이 작은 데 기인한다. 특히, 발주 변동성이 높은 LNG운반선에 수주가 집중되어 있어 향후 LNG 시황이 둔화될 경우 국내 조선업에 부정적 영향이 예상된다.



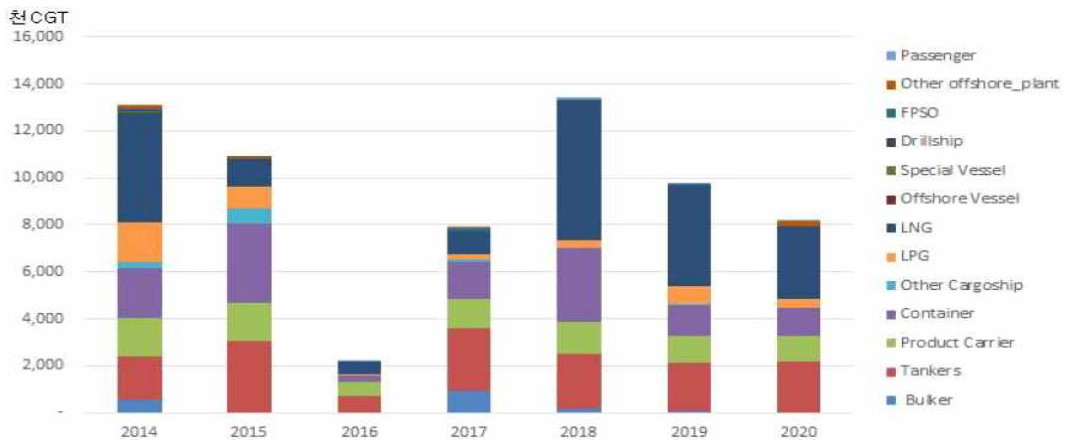
조선업 업황을 보면 2014년 유가 하락에 따른 해외 플랜트 산업의 악화와 경쟁적으로 저가 수주한 플랜트 사업, 2016년 수주절벽 등으로 대형 및 중견 조선소는 구조조정과 기업회생을 거쳐야 했다. 2016~2017년은 수주절벽이었으나, 2020년 이후 LNG선 수주가 증가하는 가운데 2020년 4분기에는 대형컨테이너선, 유조선, LPG선을 중심으로 발주가 증가하고 있다. 2020년 기준으로 한중일 동북아 3국의 수주 점유율은 전 세계 수주량의 91%로 한국(2020년 기준 42.5%), 중국(41.2%), 일본(7.1%)의 순으로 높다. 한국의 경우 2020년 기준 LNG선은 전체 수주량의 38%를 차지했지만, 이는 전년 대비 25.6% 감소한 수준이다. 그 외에도, 유조선은 전년 대비 10.5% 증가하였으며, 코로나19 팬데믹의 영향 등으로 컨테이너선(-3.1%)과 LPG선(-47.2%)의 수주는 감소하였다. 2020년 건조량은 전년 대비 7.8% 감소한 880만 CGT이다.

<그림 12> 한국 조선업 세계시장 점유율 추이



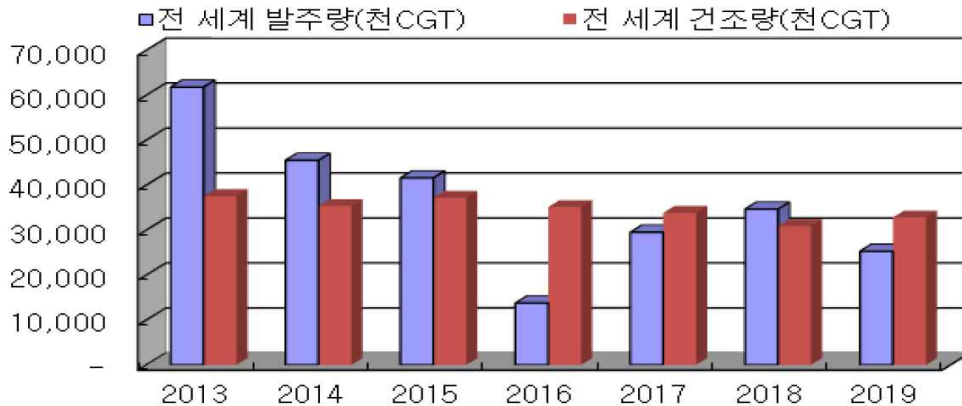
자료 : Clarkson

<그림 13> 한국 조선업 선종별 수주량 추이



자료 : Clarkson & 한국수출입은행, 해운·조선업 2020년 동향 및 2021년 전망, 2021

<그림 14> 세계 신조선 발주량 및 건조량 추이



자료 : Clarkson Research, 해운·조선업 2019년도 동향과 2020년도 전망, 한국수출입은행, 2020.1.30.



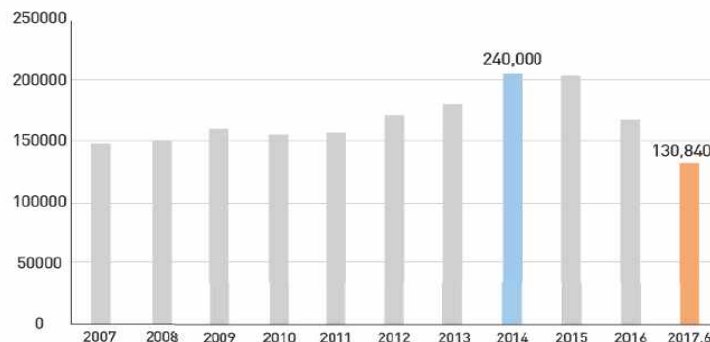
&lt;그림 15&gt; 한국 조선업 건조량 추이



자료 : Clarkson & 한국수출입은행, 해운·조선업 2020년 동향 및 2021년 전망, 2021

2010년 이후 국내 중형조선사는 주력 선종인 유조선이 중국과의 가격 경쟁이 격화되면서 다수의 중형조선사가 운영을 중단하거나 규모를 축소했다. 국내 중형조선사의 중형 선박 신규수주량 점유율은 2008년 금융위기 이후 지속해서 하락하여 2019년 1/4분기에는 1.4%에 불과한 실정이다. 2017년 기준으로 조선업 종사자의 99%, 사업체의 88%가 경남, 울산, 부산, 전남, 전북의 5대 권역에 집중되어 있으며 지역 경제와 밀접한 연관을 나타낸다. 2017년 기준으로 조선업 사업장은 총 5,318개로 대부분이 영남권(경남, 부산, 울산)에 밀집(74.4%)되어 있으며, 5인 미만의 사업장이 2,402개로 가장 많은 비율(45.2%)을 차지한다. 2017년 기준 종사자 수는 총 113,776명으로 중대형 조선소가 위치한 경남, 울산에 80.1%가 분포되어있으며, 1,000인 이상의 사업장 종사자는 47,399명으로 가장 많은 비중(41.7%)을 차지하고 있다. 조선업의 위기는 이제까지 2009년, 2012년, 2016년 세 차례 발생하였으나, 고용 측면에서 가장 큰 충격은 2016년 이후 수주절벽을 겪으며 대규모 구조조정이 이뤄지면서 발생하였다. 조선업 종사자 수는 2016년부터 급격히 감소해서 2018년에는 2015년 대비 57.4% 수준으로 급감하였다. 특히, 300인 미만 중소기업의 노동자 수가 더 빠르게 하락하였다.

&lt;그림 16&gt; 중·대형 조선소 고용인력 변화 추이

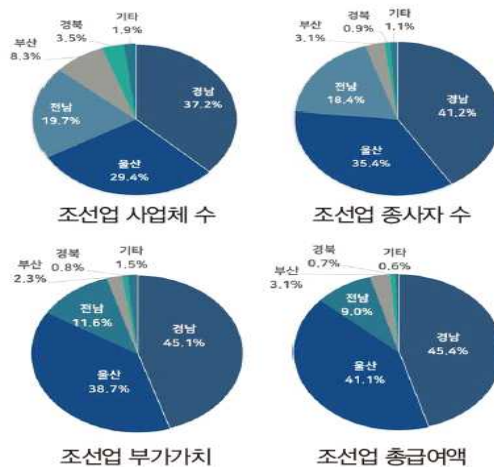


자료 : 부산시 수소산업 육성방안-수소선박을 중심으로, 부산연구원, 2019

## 2. 경남지역 조선업 현황

국내 조선업의 40% 이상이 경남지역에 집중되어 있다. 2017년 기준으로 경남지역의 조선업 사업체 수는 415개로 전국 대비 37.2%를 차지하며 종사자수, 출하액 및 총부가가치의 비중은 각각 41.7%, 48.9%, 45.1% 수준이다(경남연구원, 2019). 2015년 기준으로 조선업의 총수요는 경남지역이 가장 크며, 다음으로 울산과 전남지역 순이다. 경남지역의 조선업 총수요에서 수출이 차지하는 비중은 90.6%이며, 울산지역은 91.5%, 전남지역 75.2%이다(한국해양수산개발원, 2020). 한편, 전남지역 총수요의 12.2%는 경남지역의 중간수요이다. 조선업의 생산유발효과를 살펴보면 조선업에 의한 총생산유발 금액을 살펴보면 경남지역이 63.21조 원으로 가장 크며, 지역 내 의존도 역시 62%로 가장 높다. 다음으로는 울산이 33.42조 원(지역 내 의존도 59%), 전남이 14.65조 원(57%) 순이다. 조선업에 의해 발생하는 총부가가치는 2015년 기준으로 경남지역이 13.09조 원으로 가장 크며, 그 다음으로는 울산이 8.23조 원, 전남이 3.73조 원 순이다.

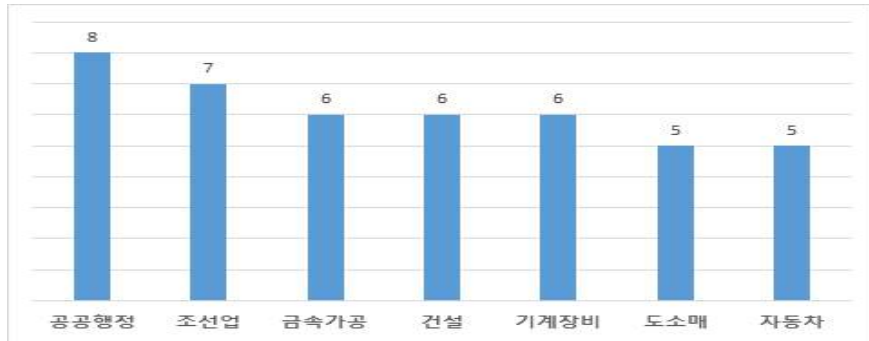
<그림 17> 조선업에서 경상남도의 위상



자료 : 통계청, 광업제조업조사, 2017; G-Brief 조선업 위기 1-고용충격, 경남연구원, 2019.3.7.

경남의 경우 2017년 기준으로 조선업에 의한 취업유발 규모가 약 23만 2천 명으로, 울산의 약 10만 6천 명, 전남의 4만 5천 명보다 크다. 경남지역에는 대형조선소 3사의 하나로 과거 분식회계와 영업적자로 심각한 경영위기를 겪은 후 현재는 현대중공업그룹과 합병 승인을 기다리는 대우조선해양(거제), 워크아웃과 법정관리를 받고 현재 대주주인 산업은행 등 국책은행이 매각을 추진 중인 STX조선해양(창원, 고성), 역시 법정관리 중인 HSG성동조선(통영) 등이 있으며 이미 청산된 신아SB(통영)도 있었다. 경남에서 조선업은 지역 부가가치 생산에서 공공행정 다음으로 크다. 따라서 조선업의 위기는 지역경제의 위기로 바로 이어지고, 지역경제를 살리기 위해서는 조선업 활성화가 선행되어야 한다.

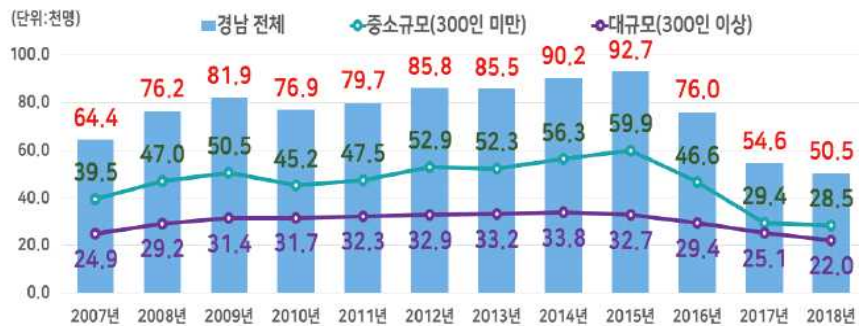
<그림 18> 2016년 경남지역 산업별 부가가치 생산액(조원)



자료 : 경남 조선업 재건을 위한 제언, 노동자운동연구소, 2019(통계청 RDP, 광업·제조업조사에서 재구성)

경남지역 조선업 종사자 수는 고용보험 가입자 기준으로 2015년 92,700명, 2018년 50,500명으로 3년간 약 42,200개의 일자리가 사라졌다. 이는 동기간 전국에서 감소한 조선업 일자리 약 8만 개의 52.8% 수준이다. 특히, 300인 미만 중소기업 사업장 일자리는 2015년 대비 2018년에 47.5% 수준으로 감소하였다. 경남지역 내에서도 거제, 통영, 창원, 고성, 사천 순으로 조선업 일자리 감소 규모가 크게 나타났다.

<그림 19> 경남 전체 조선업 고용보험 피보험자 수 변화



자료 : 한국고용정보원 고용행정DB

<그림 20> 경남 지역별 조선업 고용보험 피보험자 수 변화



자료 : 한국고용정보원 고용행정DB



### Ⅲ. 친환경선박 현황

#### 1. 친환경선박 개요

친환경선박은 저탄소 또는 무탄소의 친환경 에너지 연료를 동력원으로 사용하여 추진하거나 해양오염 저감기술 또는 선박에너지 효율향상 기술을 탑재한 선박으로, 「친환경선박법」 제2조 3호에 다음과 같이 종류가 정의되어 있다.

- 가. 해양오염저감기술 또는 선박에너지 효율기술 적용 설계선박
- 나. 액화천연가스(LNG), 수소, 암모니아 등 친환경에너지 추진 선박
- 다. 충전 받은 전기에너지를 동력원으로 하는 전기추진선박
- 라. 연료와 전기에너지를 조합하여 동력으로 사용하는 하이브리드 선박
- 마. 수소 등을 사용하여 발생시킨 전기에너지를 이용한 연료전지 선박

<표 3> 친환경 선박기술과 연료, 선박의 종류

| 구분          | 정의   |   |
|-------------|--|---|
| 오염저감·고효율선박  |   | 선박배출 오염물질 저감장치를 설치하거나 에너지 효율기술이 적용되어 설계된 선박 |
| 해양오염 저감기술   | 선박에서 배출되는 오염물질을 저감하는 기술<br>· 황산화물 저감장치(Scrubber)<br>· 질소산화물 저감장치(SCR)<br>· 미세먼지(입자상물질) 저감 필터(DPF)<br>· 배기가스 재순환 장치(EGR)<br>· 선박평형수 처리장치(BWMS)  |   |
| 선박에너지 효율기술  | 선박의 에너지 효율을 높이는 기술<br>· 최적선형설계기술(선형설계, 에너지 절감 부가물(ESD) 설계 등)<br>· 신소재 설계기술(고장력강, 내부식강, 경량소재 등)<br>· 마찰저항 저감기술(공기유향, 선체코팅, Bio Fouling 등)<br>· 추진기 설계 기술(복합프로펠러, 고효율 추진기 등)<br>· 운항효율 최적화 기술(항로탐색, 감시시스템 등)<br>· 에너지 하베스팅 기술(폐열·냉열회수, 발전 등)<br>· 이산화탄소포집장치(CCS) |   |
| 친환경에너지 추진선박 |   | 아래 나열된 친환경에너지를 이용하여 추진하는 선박                 |
| LNG/CNG     | 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG)를 연료로 사용하여 추진하는 선박   |   |
| LPG         | 액화석유가스(LPG)를 연료로 사용하여 추진하는 선박  |   |
| 메탄올         | 메탄올을 연료로 사용하여 추진하는 선박  |   |
| 암모니아        | 암모니아를 연료로 사용하여 추진하는 선박   |   |
| 수소          | 수소를 연료로 사용하여 추진하는 선박   |   |
| 기타에너지       | 산업부 및 해수부 장관이 인정하는 에너지를 사용하여 추진하는 선박<br>(예: 혼합연료, 바이오연료, 메탄올, 풍력, 태양열, 태양광 등)  |   |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| 전기추진선박    |  | 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 선박                          |
| 하이브리드 선박  |  | 연료와 전기에너지를 조합하여 동력원으로 사용하는 선박                      |
| 연료전지 추진선박 |  | 수소·암모니아 등을 사용하여 발생한 전기에너지를 이용한 연료전지를 동력원으로 사용하는 선박 |

자료 : 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획('21~'30), 2020.12.

## 2. 친환경선박 현황

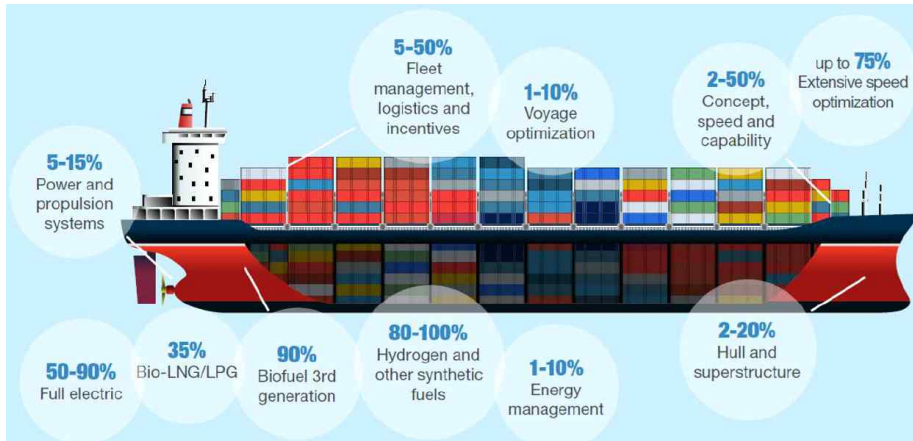
전 세계에서 운항 중이거나 건조 중인 상선 총 102,960척 중에서 약 5.6%인 5,753척만이 LNG나 황산화물 저감장치(스크러버) 등 친환경기술을 적용하고 있다 (Clarkson, 2020.9). 구체적으로 친환경기술을 적용한 선박의 78%(4,459척)는 저감장치를 설치했고, 16%(955척)는 LNG추진선박이며, 6%인 339척만이 대체연료를 사용하고 있다. 나머지 94.4%에 해당하는 현존선의 경우는 2020년부터 발효된 황산화물 규제에 따라 저유황유를 사용해서 대응하고 있다. LNG추진선박은 2016년 344척에서 2020년 995척으로 연평균 약 19%씩 성장하고 있다. 2020년 9월 기준으로 국내에서 운항 중인 LNG추진선은 3척이며, 18만 톤급 화물선을 포함한 14척이 건조 중이다.

황산화물 저감장치인 스크러버를 설치한 선박 수도 2020년부터 연료에 포함된 황 함유량 규제기준이 기존 3.5%에서 0.5%로 강화됨에 따라 2018년 189척에서 2020년 465척으로 늘어났다. 선사는 강화되는 환경규제에 대한 대응으로 선박 건조비용 상승이나 병커링 시설 부족 등을 야기하는 LNG추진선 등을 도입하기보다는 스크러버 도입을 선호한다. 대체연료를 사용하는 선박의 경우는 현재 기술 수준에서 운항 시간이나 속도 등에 제약이 있어 시험용선박이나 연안선박에 국한되며 전기추진선 230척, LPG추진선 32척, 메탄올추진선 22척, 수소선박 3척 등 총 339척에 불과한 실정이다. 국내의 경우 2020년 9월 기준으로 어선을 제외한 선박이 총 10,038척이며, 3.4%인 346척이 친환경기술을 적용하고 있는데, 이 중에서 6%인 22척이 LNG추진선박이며, 1%인 4척이 전기추진선박, 나머지 93%인 320척은 스크러버를 장착하고 있다.

선박의 운항 시 추가적인 연료소모량 감축을 위해 다양한 에너지효율 향상기술 적용을 고려할 수 있다. 선박의 에너지효율 향상기술에는 선체 설계의 최적화를 통한 선체 마찰저항 저감기술, 초경량 복합소재 프로펠러나 최적 형상 프로펠러를 장착한 고효율 추진기 기술, 고장력강이나 내부식강, 경량금속 기반 샌드위치 판넬 등의 신소재 적용을 통한 선체 경량화, 에너지 절감 장치(ESD, Energy Saving Device)의 설치, 해양생물 부착 저감(Anti-Bio Fouling) 기술, 탄소포집 기술 등이 있다. 해

외 개발 동향으로는 일본의 경우 공기윤활시스템(Air Lubrication System)과 특수도료 연구가 활발히 수행되고 있으며, 노르웨이의 Maritime은 노르웨이 선급과 함께 CO<sub>2</sub> 포집장치 프로젝트를 진행 중이다. 국내에서는 삼성중공업이 LNG선박과 컨테이너선박용 공기윤활시스템의 상용화를 추진하고 있다.

<그림 21> 해운업 온실가스 배출 저감기술별 저감률



자료 : IMO Action to Reduce GHG Emissions

<표 4> 해운업 온실가스 배출 저감기술별 저감률

| 저감 기술       | 저감률(%) | 저감 기술                | 저감률(%) |
|-------------|--------|----------------------|--------|
| 추진 시스템      | 5~15   | 에너지 관리               | 1~10   |
| 완전 전기화      | 50~90  | 선체 및 상부구조물           | 2~20   |
| 바이오 LNG/LPG | 35     | 선대 관리, 물류 및 인센티브     | 5~50   |
| 3세대 바이오연료   | 90     | 최적 항로                | 1~10   |
| 수소 및 합성연료   | 80~100 | 설계컨셉, 최대/최소 속도, 적재능력 | 2~50   |
| 광범위한 선속 최적화 | ~75    |                      |        |

자료 : IMO Action to Reduce GHG Emissions

### 3. 친환경 선박연료

기존에 선박에서 널리 사용되던 HFO(Heavy Fuel Oil, 중유)와 같은 화석연료의 대안으로 MGO(Marine Gasoil, 선박용 경유)나 LSFO(Low Sulfur Fuel Oil)와 같은 저유황유, LNG, LPG, 바이오, 메탄올, 암모니아, 수소 등의 친환경 연료가 존재한다. 이 중에서 선박 배기가스 규제 충족을 위한 탄소배출 저감 목적으로 LNG추진선, 저유황유 사용, 배기가스 후처리장치 도입 등을 고려할 수 있으나 여전히 화석연료를 사용한다는 점에서 CO<sub>2</sub> 규제강화 대응에 한계점을 내포하고 있다. 온실가스 배출저감 목표 달성을 위한 하나의 완벽한 해결책은 없으며, 다양한 기술적, 운항적, 혁신적 방법들을 함께 적용함으로써 실현할 수 있다. 탄소중립 연료는 연료의

생산 및 소비과정에서 탄소배출을 0으로 만들 수 있는 연료를 말하며, 가용성 측면에서 대표적인 후보로는 바이오 연료, 메탄올, 암모니아, 수소가 꼽힌다.

바이오 연료로는 보리, 옥수수 등 전분작물의 당화로 얻은 당분을 알코올 발효시켜 생산하는 에탄올, 음식물 쓰레기나 축분, 동물체 등의 유기성 폐기물로부터 발생하는 합성가스를 이용하여 생산하는 메탄올, 유기성 폐기물의 혐기발효를 통해 생산되는 메탄가스로 만드는 바이오가스, 유채나 콩 등 유지작물에서 추출한 채종유의 에스테르화(esterification)를 통해 얻는 바이오디젤이 있다.

바이오디젤은 기존 화석연료(MGO)와 거의 동일한 성질을 가지고 있고 에너지밀도도 유사하여 기존 선박의 연료 계통장치와 연료탱크를 그대로 사용할 수 있으며, 바이오가스는 주성분이 메탄이기에 LNG와 특성이 거의 동일하여 LNG추진선박에 바로 적용할 수 있는 장점이 있다. 즉, 바이오 연료는 기존 연료유 또는 LNG 추진 방식과 호환을 할 수 있어 공급단가 등 경제성 확보 시, 기술적으로 즉시 사용 가능한 연료다. 바이오 연료의 단점으로는 에탄올과 메탄올의 경우 에너지밀도가 낮은 편이며, 바이오디젤과 바이오가스의 생산을 위해서는 단위공정에 대규모 설비투자가 필요하다는 점을 들 수 있다. 또한, 그 원료가 되는 식량의 수급 문제와 더불어 타 산업의 부산물로 생성되는 폐기물인 축산분뇨, 음식물 쓰레기 등은 그 생산량을 갑작스레 증대시키기 어렵다. 현재는 높은 공급단가로 경제성이 부족하고 식량안보와 연결되어 있어 충분한 공급이 이뤄질지 미지수이다. 이러한 한계를 극복하기 위해 3세대 바이오매스로 꼽히는 미세조류 기반의 바이오 연료 생산을 고려할 수 있으나, 고지질을 함유한 고효율 미세조류 개발이 선행되어야 할 것이다.

메탄올은 전기를 이용한 수전해로 생산된 수소(H<sub>2</sub>)를 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 또는 일산화탄소(CO)와 반응시켜 합성할 수 있다. 이는 장기적으로 포집된 이산화탄소를 활용할 수 있다는 점에서 친환경이지만 현재 이산화탄소 포집 기술이 미비하고, 수전해에 사용되는 전기가 재생에너지가 아닌 화석연료로부터 생산되는 경우 이산화탄소 배출이 발생하며, 메탄올의 에너지밀도가 낮아 연료로 사용되기에는 효율성이 높지 않다.

암모니아(NH<sub>3</sub>)는 하버-보쉬법(Haber-Bosch)을 바탕으로 수소(H<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>)를 합성하여 생산할 수 있어 수소저장의 다른 형태로 주목받는데, 합성효율은 70%로 높으나 고압과 고온의 공정상 에너지 소비가 많다. 암모니아는 무색의 강한 냄새를 가진 기체로 공기보다 가볍기에 환기성이 좋으며 천장과 같은 높은 곳에 모이는 성질이 있어 누출가스의 제어가 용이한 편이다. 또한, 암모니아 자체는 폭발성이 거의 없는 장점이 있다. 하지만 암모니아를 선박 연료로 사용하는 데에는 다음과 같은 제약 사항이 있다.

암모니아는 유독성으로 분류되는 연료이다. IMO의 IGC Code(The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)는 천연가스보다 안정수준이 낮은 유독성 연료의 사용을 금하고 있다. 암모니

아는 안전성 측면에서 독성과 부식성을 가지고 있어 선박 연료로 사용하기 위해서는 암모니아의 특성을 고려한 기준이 필요하다. 예를 들어, 연소하지 않고 배출된 암모니아는 건조한 공기에서는 공기보다 가볍기에 빠르게 상승하지만, 해상에서는 공기 중의 습도와 반응하여 상승하지 못하고 선박표면에 남아 선체부식을 일으킬 수 있다. 암모니아는 일반 연료와 비교해서 점화가 어렵고 화염속도도 매우 느린 편으로 연소 속도도 느리다. 하지만 석유 등의 연료, 염소가스, 요소가스와 혼합되거나 금, 수은, 탈륨 등의 중금속과 반응하면 급격한 폭발을 일으킨다. 또한, 암모니아는 공기 중의 다른 물질과 결합할 경우 초미세먼지의 주요성분을 만들기에 환경부에서는 암모니아 배출허용기준(12~30ppm)을 정하고 있다. 암모니아는 -33℃에서 액화하는데, 액화 암모니아는 기존 화석연료와 비교할 때 비교적 낮은 체적 에너지 밀도를 가지고 있기에 약 4.1배 큰 저장 탱크가 필요하다. 연료의 저장 및 운반의 측면에서 암모니아는 바이오디젤이나 메탄올보다는 좋지 않지만, 바이오가스나 수소보다는 월등히 좋은 저장 특성을 가지고 있다. 기존 연료 대비 상대적인 탱크 크기를 비교해보면 메탄올은 2.3배, 암모니아는 4.1배, 수소는 7.6배로 수소보다 유리하다.

<표 5> 차세대 친환경 선박연료의 특성 비교

| 연료                     | 암모니아             | 액화수소      | 수소가스   | LNG     | MGT/디젤유 | 메탄올  |
|------------------------|------------------|-----------|--------|---------|---------|------|
| 저장상태                   | 액체               | 액체        | 기체     | 액체      | 액체      | 액체   |
| 저장온도(℃)                | 25               | -253      | 25     | -162    | 25      | 25   |
| 저장압력(kPa)              | 100-1,700        | 101-3,600 | 25,000 | 101-125 | 101     | 101  |
| 밀도(kg/m <sup>3</sup> ) | 603<br>(25℃액체상태) | 71        | 17.5   | 430-470 | 840     | 786  |
| 발열량(MJ/kg)             | 18.6-18.8        | 120       | 120    | 49      | 43      | 19.7 |
| 옥탄가                    | > 130            | > 130     | > 130  | 120     | -       | 109  |
| 화염속도                   | 0.015            | 3.5       | 3.5    | 0.34    | -       | 0.43 |

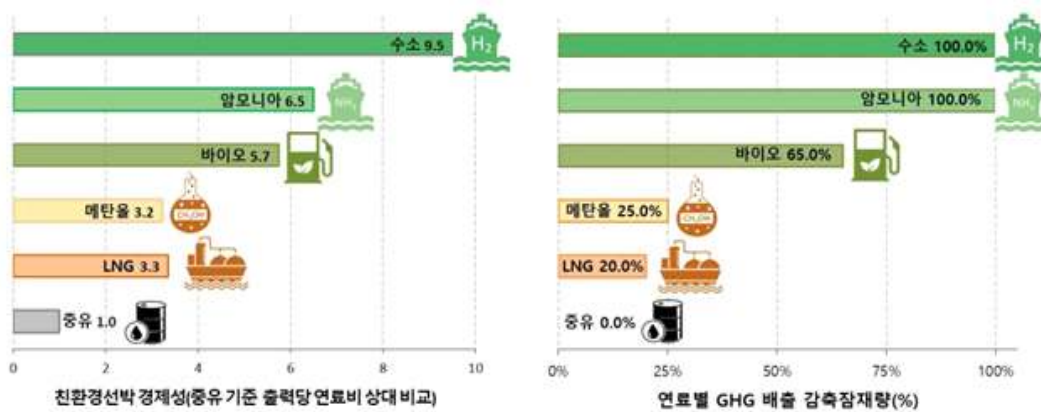
자료 : 한국선급(2021), 암모니아 연료추진선박 보고서

다른 탄소중립 연료와 비교하면 암모니아는 운송 기술도 이미 확보되어 있고 운송 비용이 저렴한 편이다. 가스가 액화되는 상한온도를 의미하는 임계온도를 비교해 보면 LNG의 경우 임계온도가 -82.95℃로 상온에서는 아무리 압력을 가하더라도 액화되지 않고 저온 또는 저온압력으로 저장하여야 한다. 암모니아는 임계온도가 132℃로 상온에서 일정한 압력을 가하면 액화가 가능하여 저장이 용이하다. 발열량 측면을 살펴보면, 수소에 비해서는 낮지만 메탄올과는 비슷하다. IMO는 최근 메틸알코올과 에틸알코올에 관한 상세규정의 잠정지침 개발을 완료하고 연료전지, 저인화점 디젤, LPG에 관한 상세요건 개발을 진행 중이나, 암모니아에 관한 상세요건을 개발할 계획은 아직 없다.



수소는 무탄소 연료로 이미 미국, 일본, EU에서는 기술 개발 및 투자가 활발히 이루어지고 있다. 수소는 질량 에너지 밀도가 높으나, 체적 에너지밀도가 낮고, 극저온(-253℃) 저장으로 운송효율 제고 등에 있어 기술적 난이도가 높은 연료이다. 수소의 에너지밀도는 질량 기준 120 MJ/kg으로 천연가스의 2.5배, 디젤의 2.8배, 체적 기준 8.5 GJ/m<sup>3</sup>으로 천연가스의 40%, 디젤의 23%이다. 수소의 발열량은 28,670 kcal/kg으로 LNG의 2.5배이고, 황산화물 및 이산화탄소 배출량이 사실상 없어 효율적인 친환경 연료로 주목받고 있다.

<그림 22> 친환경 연료의 상대적 경제성 및 온실가스 감축 잠재량



자료 : 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획('21~'30). 2020.12.

<표 6> 친환경 대체연료 추진시스템의 기술성 및 경제성 비교

| 구분                       | MGO         | LNG   | Bio Gas               | Bio Diesel                   | Methanol                            | Ammonia                     | Hydrogen                       |
|--------------------------|-------------|-------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 연료 종류                    | 화석연료        |       | 탄소 중립 연료              |                              |                                     |                             |                                |
| Storage Condition        | 상압 상온       | -162℃ | -162℃                 | 상압 상온                        | 상압 상온                               | -34℃ or 10bar <sup>1)</sup> | -253℃                          |
| Relative Fuel Tank Size  | 1           | 2.3   | 2.3                   | 1                            | 2.3                                 | 4.1                         | 7.6                            |
| Relative CAPEX           | 1           | ~1.3  | ~1.3                  | 1                            | ~1.15                               | ~1.2                        | 매우 비쌌                          |
| Fuel Cost & Availability | 저렴하고 매장량 풍부 |       | 원료수급 문제로 충분한 대량생산 어려움 | 수급 불안정성으로 가격 예측 어려움. 식량안보 문제 | 이산화탄소 포집비용이 높음(공기 중으로부터 이산화탄소 포집 시) | 가격이 비싸나 탄소중립 연료 중에서는 저렴한 편  | 연료 생산비용은 합리적이거나 운송 및 저장 비용이 높음 |

주 : 1) 압력의 단위로 1bar는 대기압과 유사한 정도(≒1atm)의 압력을 가짐  
 자료 : 한국선급, 2020

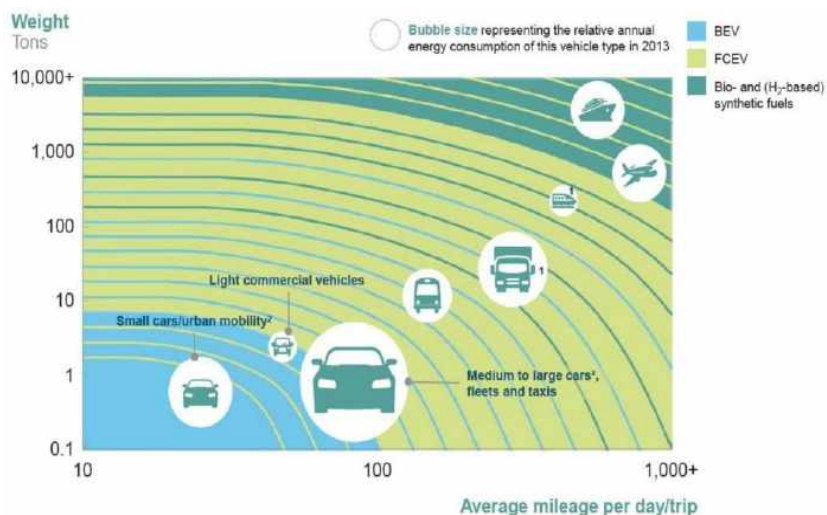
## IV. 수소선박의 개요

### 1. 수소선박의 개념

수소선박 또는 수소연료 추진 선박은 선박에 장착된 수소연료전지에 온실가스를 발생시키지 않는 수소와 산소를 공급하여 수소와 산소의 화학반응을 일으켜 물과 열을 발생시키고, 이때 발생한 열에너지를 전기에너지로 전환해 모터와 프로펠러를 회전시켜 추진하는 친환경 선박을 말한다. 수소는 재생에너지와의 상호보완, 가벼운 무게, 빠른 충전속도, 오랜 저장기간 등의 장점으로 해양분야 활용성이 높다. 수소는 소형보다는 대형, 단거리보다는 장거리 이동수단에 더 적절하기에 선박이나 항만장비 등에 적합하다. 도서지역, 외해양식, 해양장비 등과 같이 육상의 전력 그리드와 연결이 어려운 지역, 장비, 시설 등에 활용될 가능성이 높다.

수소선박의 개발은 현재 초기 단계로 다음과 같은 수소의 특성으로 인해 기술 난이도가 높다. 수소는 체적 에너지밀도가 낮아서 수소를 저장하는 탱크의 경우 다른 친환경연료에 비해 상대적 크기가 크다. 예를 들어, 기존 연료 대비로 LNG와 메탄올을 저장하는 탱크는 2.3배, 암모니아는 4.1배이지만 수소는 7.6배 크기이다. 또한, 수소는 수소취성을 갖고 있으며 저장온도가 극저온에 해당하는  $-253^{\circ}\text{C}$ 로 용기 제작을 위해서는 수소취성을 극복하고 극저온을 견딜 수 있는 특수소재가 필요하고, 단열성능도 높아야 한다.

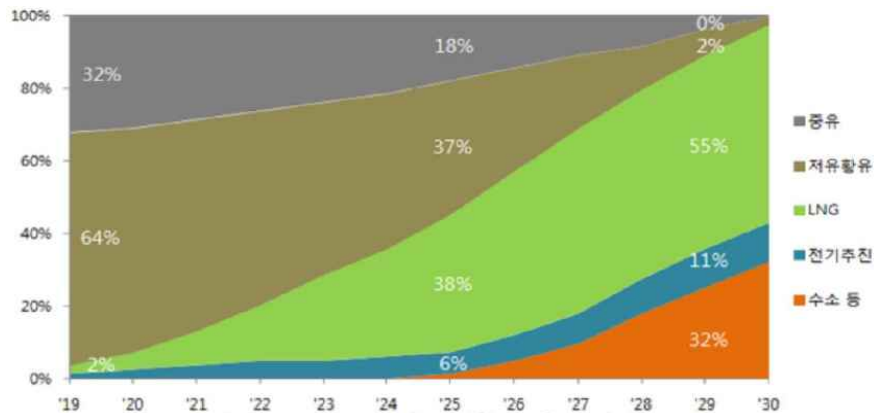
<그림 23> 운송수단 무게별 연료와 평균 운행거리



주 : BEV = Battery Electric Vehicle; FCEV = Fuel Cell Electric Vehicle  
 자료 : Hydrogen Council, 2017

수소의 특성에 따른 기술적 난이도에도 불구하고 수소연료전지의 경우 오염원의 배출과 관련해서 이미 검증이 되었기에 안전과 경제성 등의 문제만 해결되면 가장 현실적인 대안이 될 수 있다. 따라서, 수소연료전지선박의 주도권 확보를 위한 기술 개발과 산업 육성이 시급하다. 수소연료전지 엔진은 현재 기술로 40~60%의 효율성을 달성할 수 있으며, 이는 가솔린엔진의 약 25%, 디젤 엔진의 약 35% 효율성과 비교해서 상당히 높은 수준이다. 수소연료전지는 리튬-이온 배터리 대비 5배 이상 높은 에너지밀도를 갖고 있고 충전속도도 빠른 이점이 있다. 수소선박에는 엔진의 출력을 수시로 변경하는 선박 특성을 고려하여 전기 부하의 변동에 따른 출력 조절에 유리한 '고분자 전해질형 연료전지(PEMFC)'가 주로 사용되며, 수소선박은 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)의 배출이 없고 이산화탄소 배출도 가스터빈 대비 50%가량 절감할 수 있다. 수소선박은 배기가스 저감, 저진동·저소음, 상대적으로 단순한 구동체계, 자율운항기술과의 접목, 향후 기술발전 및 보급 확대에 따른 가격 하락 가능성 등 미래 조선·해운 트렌드 및 시장성 측면에서 장점을 보유하고 있다. 수소선박은 자동차와 달리 구동을 위한 전력량을 배터리로 공급받기에는 배터리의 체적 및 중량에서의 비효율성 문제가 있기에 선박 운항에 요구되는 배터리 용량이 너무 크고 육상과 달리 충전을 자주 하기 어려운 상황을 고려해야 한다. 따라서, 현재의 내연기관에서 전기배터리를 건너뛰어 수소연료전지 추진 선박의 상용화로 바로 이동할 것으로 전망된다. 2019년 기준으로 전체 선박 연료의 98%는 중유와 저유황유가 차지하고 있으나, 2025년에는 LNG가 전체의 38%, 전기가 6%를 차지하는 등 친환경선박연료가 기존의 중유와 저유황유를 대체할 것으로 전망된다. 수소연료는 2025년경부터 상용화되어 2030년에는 전체 선박연료의 32%를 차지할 것으로 예상된다. Lloyd's에 따르면 2025년부터 2040년까지 수소추진선박의 발주량은 누적기준으로 약 115~230척이 될 것으로 추정하고 있다(Lloyd's List Intelligence, 2017).

<그림 24> 선박연료 비중 전환 추진안



자료 : DNV-GL 글로벌 전망 기준 산업연구원 전망

## 2. 수소선박의 구성

수소연료 추진 선박의 시스템은 크게 세 부분으로 구성된다.

- ① 수소연료저장·공급시스템: 연료인 수소를 저장하고 수소연료전지 시스템에 공급
- ② 수소연료전지 시스템(+ESS(Energy Storage System)): 수소를 연료로 전기를 생산하고 저장
- ③ 전기 추진 시스템: 생산된 전력을 선박 추진동력으로 전환

<그림 25> 수소연료전지선박 구성



자료 : 수소연료전지선박 개요 및 기술개발 동향 소개, 이제명 외, 대한조선학회지 56(1), 2019.3

### 가. 연료 저장·공급 시스템

수소연료 저장·공급 시스템은 수소를 극저온의 액체 혹은 기체 상태로 연료탱크에 저장하는 수소연료 저장시스템과 수소연료전지 시스템에서 요구하는 온도, 압력 등의 조건에 맞추어 상압 극저온 액체상태의 수소를 기화시키거나 고압 상태의 수소를 연료전지시스템에 공급하는 시스템을 지칭한다. 시스템은 통상 10 bar 이하, 상온이라는 연료전지 공급 조건에 부합하는 수소를 공급하기 위해 펌프, 기화기, 열교환기 등의 기자재로 구성된다.

연료탱크는 다시 고압저장탱크와 액화저장탱크로 나눌 수 있다. 고압저장탱크는 상온에서 기체 상태의 수소를 30~70MPa 범위의 압력을 가해 저장하는 방식으로 연료 소모가 적은 소형선박에 적합하다. 고압저장탱크에 필요한 기술로는 저장용기 내외벽 구조설계, 보강재 및 저장용기 지지구조 설계, 고압환경에서의 용접 허용구조강도 확보, 복합재료(CFRP, GFRP, Graphene)라이너 개발 등이 있다. 액화저장탱크는 0.5~1MPa 압력에서 수소를 영하 250도 이하로 액화하여 저장하는 방식으로 연료소모가 많은 중대형선박에 적합하다. 액화저장탱크에 필요한 기술로는 극저온

과 수소취화성에 안정적인 재료 개발, 단열재료/구조 기술 등이 있다.

연료공급시스템은 연료전지에서 전기를 생산하기 위해 수소를 연료전지에 공급하는 장치로 수소공급장치(펌프), 열교환기, 수소 기화기 등으로 구성된다. 연료공급시스템에는 연료전지 가동에 필요한 온도와 압력으로 수소를 안정적으로 공급하는 기술과 기화기를 포함한 기자재 안전성 평가 등이 필요하다. 선박용 수소연료공급시스템(HGS; Hydrogen Generation Systems) 시장은 아직 초기 단계로 향후 성장 잠재력이 크고, 미래에 큰 폭의 시장 수요 증가가 예상된다.

#### 나. 연료전지시스템

연료전지(Fuel Cell)는 수소와 같은 화학에너지를 전기에너지로 변화시키는 발전 장치를 일컫는다. 연료전지시스템은 연료전지 스택, 수소 등의 연료공급장치, 공기 공급장치, 열관리장치로 구성된다. 이 중 핵심기자재인 연료전지 스택(stack)은 발전 장치에 해당하며 전극, 전해질, 분리판으로 구성된 셀이 적층으로 이루어진 구조이다. 스택은 막전극접합체(MEA, Membrane Electrode Assembly), 가스확산층, 분리판, 가스켓 등으로 구성되며, 연료전지의 특성은 전해질에 따라 달라진다. 작동온도 및 사용 용도에 따라 고분자 전해질 연료전지(PEMFC; Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), 용융탄산염 연료전지(MCFC; Molten Carbonate Fuel Cell), 고체 산화물 연료전지(SOFC; Solid Oxide Fuel Cell) 등으로 구분된다. 연료전지의 스택을 제외한 나머지 구성품을 BOP(Balance of Plant)라고 하며 공기공급장치, 연료변환기, 열관리장치 등이 해당된다.

<표 7> 연료전지의 종류와 특성

| 종류  | 전해질             | 촉매         | 출력(용도)                | 작동온도(℃)  |
|---|-----------------|------------|-----------------------|----------|
| 고분자 전해질 연료전지<br>(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) | 고분자막<br>(이온교환막) | 백금         | 1-10kW<br>(자동차, 선박)   | 80-100   |
| 고체 산화물 연료전지<br>(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)                    | 세라믹             | 니켈         | 1kW-MW<br>(발전용, 선박)   | 600-1000 |
| 용융탄산염 연료전지<br>(MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell)                | 탄산염             | 니켈         | 100kW-MW<br>(발전용, 선박) | 650      |
| 인산형 연료전지<br>(PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cell)                   | 인산              | 백금         | MW이하<br>(소규모 발전용)     | 180-210  |
| 알카라인 연료전지<br>(AFC, Alkaline Fuel Cell)                          | 수산화칼륨           | 백금         | ~200kW                | 60-220   |
| 직접메탄올 연료전지<br>(DMFC, Direct Methanol Fuel Cell)                 | 고분자막<br>(이온교환막) | 백금<br>-루테늄 | 1kW 이하                | 100 이하   |

<표 8> 연료전지 유형별 특성

| 연료전지 유형             | 특성   |
|---------------------|--|
| 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) | 1990년대 개발된 4세대 연료전지로 가정용, 자동차용, 이동용 전원으로 이용<br>가장 활발하게 연구되는 분야이며, 실용화 및 상용화도 다른 연료전지보다 빠르게 진행됨   |
| 고체 산화물 연료전지(SOFC)   | 미국, 일본에서 개발되었으며 성능평가 진행 중(250kW 상용화, 2MW 실증)<br>1980년대에 개발된 3세대 연료전지로 MCFC보다 효율이 우수함. 대형발전소, 아파트단지 및 대형건물의 분산형 전원으로 이용<br>최근 선진국에서는 가정용, 자동차용으로 연구되고 있으나, 우리나라의 기술력은 다른 연료전지에 비해 가장 낮음 |
| 용융탄산염 연료전지(MCFC)    | 1980년대에 개발된 2세대 연료전지로 대형발전소, 아파트단지, 대형건물의 분산형 전원으로 이용  |
| 인산형 연료전지(PAFC)      | 1970년대 개발된 1세대 연료전지로 병원, 호텔, 건물 등의 분산형 전원으로 이용<br>현재 가장 앞선 기술로 미국, 일본에서 실용화 단계에 있음   |
| 알카라인 연료전지(AFC)      | 1960년대 군사용으로 개발(아폴로 11호 우주선에 적용)<br>순수 수소 및 순수 산소를 사용  |
| 직접메탄올 연료전지(DMFC)    | 1990년대 말부터 개발된 연료전지로 핸드폰이나 노트북 등 이동형 전원으로 이용<br>고분자전해질형 연료전지(PEMFC)와 함께 가장 활발하게 연구됨  |

자료 : IBK투자증권 보고서 자료 정리, 수소연료전지산업 기업실태와 육성방안(울산연구원, 2019) 재인용

<표 9> 해외 개발 수소선박의 연료, 규모, 연료탱크 차이 비교

| Project                   | Concept                 | Fuel  | Capacity               | Fuel Storage Tank |
|---------------------------|-------------------------|-------|------------------------|-------------------|
| ZemShip-Alsterwasser      | Passenger Ship          | PEM   | 96kW                   | High Pressure     |
| Nemo H2                   | Passenger Ship          | PEM   | 60kW                   | High Pressure     |
| Hornblower Hybrid         | Hybrid Ferry            | PEM   | 32kW                   | High Pressure     |
| Hydrogenesis              | Passenger Ship          | HTPEM | 12kW                   | High Pressure     |
| MF Vflgen                 | Passenger Ship          | PEM   | 12kW                   | High Pressure     |
| Class 212A/214 Submarines | Hybrid Submarine        | PEM   | 306kW                  | High Pressure     |
| SF-BREEZE                 | Feasibility Study/Ferry | PEM   | 120kW/Module           | Low Pressure      |
| FELICITAS-Subproject 3    | PEFC-Cluster            | PEM   | 80kW (basis component) | High Pressure     |
| Cobalt 233 Zet            | Hybrid Propulsion       | PEM   | 50kw                   | High Pressure     |

자료 : DNV-GL, 2016

#### 다. 전기 추진·제어시스템

전기 추진·제어시스템은 전기추진시스템(EPS; Electric Propulsion System)과 통합 제어·모니터링시스템(ICMS; Integrated Control & Monitoring System)으로 분류된다. 전기 추진 시스템은 수소연료전지시스템에서 생산된 전력을 선체 추진동력으로 전환하는 시스템이며, 배전·전력 변환 시스템, 추진 전동기를 포함한 동력 전달 시스템으로 구성된다.

통합제어·모니터링 시스템은 응답성을 확보하고 안정적인 운영을 위해 선박을 통합 제어하는 시스템으로 전력 관리 및 배분 최적화하는 전력관리시스템(PMS; Power Management System), 시스템 모니터링, 비상정지시스템 등으로 구성된다.

### 3. 수소선박 개발 동향

#### 가. 해외 수소선박 개발 현황

세계 주요국은 수소, 암모니아, 메탄올 등의 친환경연료를 동력원으로 사용하는 선박의 기술개발과 시범선박의 건조 및 실증, 상업적 운영을 통해 미래 친환경선박 시장을 선점하기 위해서 경쟁적으로 달려가고 있다. 또한, 친환경선박 국가계획을 수립하여 이행 중인데 대표적으로는 미국의 Clean Port USA, EU의 EU Strategy, 일본의 Port 2030 등을 들 수 있다. 미국은 2016년부터 META(Maritime Environment & Technology Assistance, 해양환경 및 기술지원) 프로그램을 통해 4.8MW급 수소연료전지, 내륙수로 LNG선박, 전기추진선박 등의 기술개발을 지원하고 있다. EU는 유럽 최대 R&D 지원 프로그램인 'Horizon 2020'을 통해서 연료전지추진선박이나 액화수소추진선박 등 친환경선박 관련 기술개발에 적극적으로 투자하고 있다. 일본은 2016년부터 I-shipping 사업을 통해 새로운 선형개발 및 최적 설계 기술개발, 선박 건조 및 운항 생산성 향상 연구 등을 지원하고 있고, J-ocean 사업을 통해서 부유식 LNG 병커링(FLNG)과 LNG 기자재 등의 개발을 지원하고 있다. 중국의 경우는 2015년부터 '중국제조 2025' 정책의 10대 핵심산업 중 하나로 해양선박 산업을 선정하고 육성하고 있다. 2020년 현재 전 세계에서 건조된 수소연료선박은 총 10척이고, 이 중 상업 운전을 하는 선박은 5척이나 아직 검증된 시스템이나 압도적 기술격차를 보유한 기업은 없다.

## (1) 미국

미국은 2003년부터 수소연료전지 분야에 연간 17억 달러를 투자하고 있다. 대표적인 수소선박 프로젝트로는 New York Hybrid 프로젝트, SF-Breeze 프로젝트, Water-Go-Round 프로젝트를 꼽을 수 있다. 현재까지의 성과를 요약하면 2015년에 액화 수소연료전지를 이용한 선박을 건조하였으며, 현재는 물을 이용해 생성된 수소만을 활용하는 수소연료전지를 장착한 고속 페리를 상용화하기 위해 힘쓰고 있다. 2020년에 'Water-Go-Round' 프로젝트를 통해 개발한 수소연료전지 여객선이 샌프란시스코에서 첫 항해를 했는데, 이는 세계최초의 상용 수소선박 페리선이다.

2008년부터 Statue Cruises와 Derecktor Shipyards는 디젤엔진, 풍력, 태양력, 32kW급 수소연료전지를 복합 탑재한 페리선인 'New York Hornblower Hybrid'호의 개발을 시작해서 2012년에 상업운항을 시작했다. New York Hornblower Hybrid호는 600명을 수용할 수 있는 세계최초 하이브리드 페리선이다.

<그림 26> New York Hornblower Hybrid호(미국)



자료 : [www.nycgo.com](http://www.nycgo.com)

2015년 샌디아국립연구소(Sandia National Laboratories)는 2.5MW급 액화수소 연료전지 추진선박으로 150명을 수용할 수 있는 소형 고속 여객선인 'SF-Breeze'호를 통해 선속 35노트 고속 페리 운항기술의 타당성을 검토했다.

<그림 27> SF-Breeze호(미국)



자료 : [www.osti.gov](http://www.osti.gov)



2019년 샌디아국립연구소와 GGZEM(Golden Gate Zero Emission Marine), Hexagon Composites는 캘리포니아 대기보전위원회와 공동으로 600kW급 수소연료 전지를 탑재한 미국 내 최초의 수소 연료전지선박이자 세계최초의 상용 연료전지 페리선인 'Water-Go-Round'호를 개발 완료하였다. Water-Go-Round호는 100명을 수용해서 최대 22노트로 운항할 수 있는 페리선이다.

<그림 28> Water-Go-Round호(미국)



자료 : waterground.com

## (2) 노르웨이

노르웨이의 DNV, Eidesvik Offshore와 Wärtsilä, 독일의 MTU는 컨소시엄을 구성해 2003~2010년의 기간 동안 공동 산업 프로젝트인 FellowSHIP(Green Ship of the Future) 프로젝트를 통해 92m 길이의 LNG를 주연료로 사용하고 330kW급 MCFC를 보조전력으로 사용하는 특수 작업용 선박인 'Viking Lady'호를 제작하고 지금까지 7,000시간 이상의 성능 검증을 완료하였다(2009년). 2013년에는 Viking Lady호에 수소연료전지 외에 배터리 하이브리드 추진시스템을 추가로 설치하여 연료 소비량 15%, 이산화탄소 배출량 20%, 질소산화물 배출량 85%를 절감했다. 현재는 MW급 연료전지시스템을 개발하고 있다.

<그림 29> Viking Lady호(노르웨이)



자료 : www.ship-technology.com

2018년 6월 독일의 Siemens와 스위스의 PowerCell, 노르웨이의 HYON AS는 선박용 수소연료전지(PEMFC) 발전시스템을 개발 완료하고 세계최초로 노르웨이와 독일 선급(DNV-GL)의 기본승인(AIP)을 획득했다. HYON은 노르웨이의 수소 생산업체인 Nel ASA, 수소 고압저장기술을 개발하는 Hexagon Composites ASA, 그리고 수소연료전지를 개발하는 스웨덴의 PowerCell Sweden AB의 조인트 벤처이다. 2018년부터 노르웨이의 University of St. Andrews, Kongsberg Maritime AS와 독일의 DLR 등은 Horizon 2020에서 지원하는 ‘Hyseas III Project’의 하나로 120명을 수용할 수 있는 100kW PEMFC 페리선을 개발하고 있다. 이를 위해 선박 내 수소 저장기술 및 해양 하이브리드 전기 구동 시스템 개발도 함께 추진 중이다. 대형 운송업체인 Samskip은 수소연료전지와 디젤엔진·배터리 하이브리드 추진시스템이 탑재된 무공해 컨테이너선을 개발하는 Sea Shuttle 프로젝트를 진행하고 있다.

<그림 30> Sea Shuttle(노르웨이)



자료 : www.rivieramm.com

2019년 노르웨이의 선박기술회사인 Havyard Group은 Sintef Ocean, Prototech와 함께 FreeCO2ast라는 대형선박 수소추진 시스템 개발 프로젝트를 노르웨이 정부로부터 1천만 유로의 자금을 지원받아 수행하고 있다. 200kW 선박용 PEM(Proton Exchange Membrane) 수소연료전지 모듈을 다수 연결하여 총 3.2MW 수소연료전지를 탑재할 계획이며, 2021년 개발 완료를 목표로 하고 있다.

<그림 31> Havyard에서 개발하는 대형선박용 수소연료전지 추진시스템(노르웨이)



자료 : www.seatrade-maritime.com

노르웨이 선주회사인 Wilhelmsen은 2020년 EU로부터 8백만 유로의 자금을 지원 받는 HySHIP 프로젝트를 통해 재생에너지로부터 생산된 액화수소를 연료로 하는 로로(roll-on roll-off) 선박을 설계 및 건조하고, 액화수소 공급망과 병커링 플랫폼을 구축하고 있다. 이 프로젝트에서 개발 중인 선박명은 Tepka호로 1,000kWh 용량의 배터리와 3MW PEM 수소연료전지를 탑재하고 있으며 2024년부터 운영할 예정이다. HySHIP 프로젝트에서는 향후 1MW 소형 탱커 바지선과 3MW 고속페리, 20MW 대형 벌크선용 에너지 시스템 개발을 목표로 하고 있는데, 이 프로젝트에는 노르웨이, 영국, 프랑스, 네덜란드 등 다양한 국가의 회사가 파트너로 참여하고 있다.

<그림 32> HySHIP 프로젝트에서 개발 중인 Tepka호(노르웨이)



자료 : [www.wilhelmsen.com](http://www.wilhelmsen.com)

그 외에도 2021년부터 'Viking Cruise' 프로젝트를 통해 수소연료전지와 배터리를 이용한 250m 길이의 대규모 하이브리드 페리를 2023년까지 건조를 마치고 운행하는 것을 목표로 개발하고 있다. 또한, 노르웨이 스타방에르에서는 수소연료추진 페리가 지역 대중교통망의 일부로 운항될 예정이다.

<그림 33> Viking Cruise호(노르웨이)



자료 : [www.cruisehive.com](http://www.cruisehive.com)

### (3) 독일

2008년 독일의 Linde Group과 Proton Motor, Hamburg University of Applied Sciences 등은 Zemships(Zero Emission Ships) 프로젝트의 하나로 25m 길이에 100명을 수용할 수 있는 세계최초의 100kW PEMFC 연료전지 여객선인 'FCS Alsterwasser'호를 제작했으며, 3,000시간 이상의 운항실적을 보유하고 있다. FCS Alsterwasser호는 350bar의 압력탱크에 50kg의 수소를 저장하면 약 3일간 운항할 수 있으며, 연간 1,000kg의 이산화황과 70,000kg의 탄소배출을 절감하는 효과가 기대된다. 아울러 독일은 'RiverCell/ELEKTRA' 프로젝트를 통해 수소연료전지 예인선 개발 및 타당성 조사를 수행하고 있다.

<그림 34> Alsterwasser 호(독일)



자료 : blue-growth.org

2017년 독일의 Innogy사는 덴마크의 연료전지 회사인 SerEnergy에서 개발한 35kW DMFC를 탑재한 'MS Innogy'호를 제작 완료하고 운항에 성공했다. MS Innogy호는 연료전지에서 발생하는 폐열을 메탄을 재생과정에 활용하여 40~50%의 전기효율을 달성했다.

<그림 35> MS innogy호(독일)



자료 : Carbon Recycling International

#### (4) 네덜란드

2009년 네덜란드의 Fuel Cell Boat B.V.사는 300만 유로를 투자하여 'NEMO H2 Project'의 하나로 88명을 수용할 수 있는 6개의 수소저장 탱크 및 60~70kW PEMFC를 탑재한 여객선인 NEMO H2호를 개발 완료하였다. 네덜란드의 선박제조 회사 Sinot는 2019년 모나코 요트쇼에서 세계최초 수소동력 요트인 '아쿠아'를 공개했으며, 네덜란드 로테르담항은 2020년 9월 수행한 초기 연구의 후속 과제로 수소 거래를 위해 필요한 산출물과 조건을 제시하기 위한 수소 교환 프로젝트인 'HyXchange' 정의 연구를 수행하고 있다.

<그림 36> NEMO H2호(네덜란드)



자료 : en.gaastmeerdesign.nl

#### (5) 영국

2013년 영국의 Bristol City Council과 Bristol Hydrogen, 그리고 Auriga Energy 등은 영국 최초의 액체수소 추진 여객선인 '하이드로 제네시스(Hydrogenesis)'호를 운항했다. 하이드로 제네시스호는 12m 길이에 12kW급 연료전지를 장착하였다. 스코틀랜드는 세계최초 수소연료전지 RO-PAX(Roll-on Roll-off Passenger) 페리를 건조하고 있다.

<그림 37> Hydrogenesis호(영국)



자료 : www.ship-technology.com

## (6) 스위스와 캐나다

2018년 6월 스위스 ABB와 캐나다의 Ballard Power Systems는 3MW급 선박용 PEM연료전지 공동 개발을 시작했는데, 향후 200kW급 연료전지 모듈 개발 및 선박 탑재를 추진하고 있다. 그리고, 2019년 5월에 수소연료전지 추진 솔루션을 신규 제작 선박에 공급했다.

## (7) 일본

가와사키중공업은 LNG 운반선박 기술을 응용해서 CCS(Cargo Containment System)를 적용한 액화수소 운반선 R&D를 추진하고 있다. 2014년에 2,500m<sup>3</sup> 규모의 액화수소 저장 CCS 설계 시스템이 일본선급(Nippon Kaiji Kyokai)으로부터 기본승인(API)을 획득하였다. 일본은 대규모 수소생산과 운송 실증사업을 추진하고 있는데 2016년도에는 IMO에 액화 수소 운반선에 대한 안전기준을 제안하여 잠정적으로 채택되었다. 또한, 'Hydrogen carrier' 프로젝트를 통해 높이 116m, 폭 19m, 무게 8,000톤, 속도 13노트의 세계최초 액화 수소 운송선(1,250m<sup>3</sup>)을 2021년 건조 완료하고, 2021년 3월부터 호주에서 생산된 액화수소를 일본으로 운송할 예정이다. 아울러 일본은 'Energy Observer' 프로젝트를 통해 태양광이나 풍력을 통해 얻은 전기로 수전해 수소를 발생시켜 추진하는 세계최초 에너지 자급자족 수소연료전지선박을 개발하고 있다.

<표 10> 해외 주요 수소선박 개발 프로젝트 현황

| 선명                  | 선종       | 국가   | 연료전지 용량 | 연료전지 종류    | 추진연료         | 인도일 (연구기간) | 수용능력  |
|---------------------|----------|------|---------|------------|--------------|------------|-------|
| SSFC Program        | 항선       | 미국   | 25MW    | MCFC       | Diesel       | 2003-2009  |       |
| Wallenius/'Orcelle' | 카페리      | 스웨덴  | 10MW    | -          | Methanol     | 2004       |       |
| Felictas            | 요트       | 독일   | 200kW   | PEMFC/SOFC | CGH2, LNG    | 2005-2008  |       |
| MC WAP Project      | 페리       | 이탈리아 | 150kW   | MCFC       | Diesel       | 2005-2011  |       |
| Methapu             | RORO     | 핀란드  | 250kW   | SOFC       | Methanol     | 2006-2009  |       |
| Zemship             | 페리       | 독일   | 100kW   | PEMFC      | CGH2         | 2006-2010  | 100명  |
| FellowSHIP          | PSV      | 노르웨이 | 320kW   | MCFC       | LNG          | 2007-2010  |       |
| Nemo H2             | 보트       | 네덜란드 | 60-70kW | PEMFC      | CGH2         | 2009       | 90명   |
| HornblowerHybrid    | 페리       | 미국   | 32kW    | PEMFC      | CGH2         | 2012       | 600명  |
| Scanlines           | 카페리      | 독일   | 8.3MW   | -          | LH2          | 2012       |       |
| M/S Mariella        | 페리       | 독일   | 60kW    | PEMFC      | Methanol     | 2016       |       |
| M/S Forester        | 화물선      | 독일   | 100kW   | SOFC       | Diesel       | 2016       |       |
| Water-Go-Round      | 페리       | 미국   | 360kW   | PEMFC      | CGHW         | 2019       | 100명  |
| Viking Cruise       | 크루즈      | 노르웨이 | -       | -          | LH2          | -          | 1400명 |
| SF-Breeze           | 고속페리     | 미국   | 4.92MW  | PEMFC      | LH2          | -          | 150명  |
| FLAGSHIP            | 페리       | 노르웨이 | 400kW   | PEMFC      | LH2          | 2021       |       |
| ZEFF                | 페리       | 노르웨이 | -       | -          | H2 + Battery | -          |       |
| SeaShuttle          | 컨테이너 운반선 | 노르웨이 | -       | -          | H2           | -          |       |
| Elektra             | 바지선      | 독일   | 320kW   | PEMFC      | H2           | 2021       |       |

자료 : 한국산업기술평가관리원(2019) KEIT PD Issue Report. Vol. 19-12

## 나. 국내 수소선박 개발 현황

정부는 2018년 11월 '수소선박 지원 방안'을 발표하고, 2023년까지 수소연료 선박 R&D 플랫폼 구축, 2030년까지 수소선박 핵심기술 확보, 2035년까지 대형 수소선박 건조를 추진하겠다고 계획을 밝혔다. 정부는 선박용 수소연료전지가 2025년부터 본격적으로 상용화되기 시작하여 2030년경에는 전체 선박용 연료의 30%를 차지할 것으로 전망하고 있다(해양수산부, 2019). 또한, 2020년 12월 정부의 「2050 탄소중립 추진전략」 발표를 보면 선박에서 LNG 등 저탄소 연료에서 수소 및 암모니아 등의 무탄소 연료로의 전환을 위한 친환경선박 개발·확산 및 항만 인프라 구축을 제안하였다.

수소연료전지를 이용한 선박 개발을 위해 국내의 대기업과 정부, 학계는 2019년 '친환경 수소연료 선박 연구·개발(R&D) 플랫폼'을 출범하고 육상에서의 성능평가 지원을 발표하였는데, 정부는 플랫폼 구축에 2019년부터 2023년까지 약 420억 원을 투입할 예정이다. 이 플랫폼에는 현대중공업, 삼성중공업, 대우조선해양의 조선 3사와 현대기아차, 현대상선, 포스코, 그리고 대학 및 국책연구소 등 모두 15개의 기관이 참여하고 있으나 아직 실질적 성과가 미흡하다는 평가도 있다. 부산시는 '친환경 수소연료전지 R&D 플랫폼 구축사업'의 일환으로 2022년 하반기 완공을 목표로 부산시 남구 우암동 해양산업클러스터 구역 내에 전용 연구동 건설을 추진하고 있다.

수소 선박과 관련해서는 부산에 거점을 두고 있는 한국선급(KR)에서 2010년부터 다양한 연구개발을 진행하고 있다. 2011년 한국선급은 신개념 동력원 선박 적용 기반기술을 개발하였다. 2017년부터 2021년까지 63억 원을 투입하여 수소연료전지 개발 및 실증을 추진하고 있는데, 구체적으로 살펴보면 '미세먼지 무배출 선박용 PEMFC(고분자 전해질 연료전지) 하이브리드 시스템 개발 및 실증', '액체수소 운송 선용 CCS(Cargo Containment System) 설계 및 검증기술 개발' 등의 연구를 진행하고 있다. 한국선급은 2022년까지 수백kW급 선박용 연료전지시스템 안전성 검사 및 승인 체계를 구축하고 2025년까지 수소운송 및 MW급 선박용 연료전지시스템 기반을 구축하는 것을 목표로 하고 있다.

선박추진용 연료전지 개발 동향을 살펴보면, 2011년 포스코에너지는 선박보조전원용 용융탄산염 연료전지(MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell) 시스템을 개발하였다. 같은 해 평화오일셀공업은 선박추진용 12kW급 고분자전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)를 개발하였다. 금하네이벌텍은 2012년 50kW급 연료전지 기반 기체 및 제조기술을 개발하였다.

대형조선사의 수소선박 개발현황을 살펴보면 한국조선해양은 고체산화물기반 연료전지의 선박 적용 실증센터를 구축하고 스마트 전기추진선을 건조하고 있다. 2020년 10월 한국조선해양, 한국미포조선, 현대글로벌비스는 공동으로 약 1,400톤의 수소를 저장할 수 있는 2만m<sup>3</sup>급 상업용 액화수소 운반선의 기본설계 도면에 대해 국내 선박인증기관인 한국선급과 해외 선박 등록기관인 라이베리아 기국으로부터 기본 인증(AIP; Approval in Principle)을 획득하였다. 2021년 3월 한국조선해양은 한국선급과

‘수소선박 안전설계 규정 개발을 위한 업무협약’을 체결하고, 세계최초로 수소선박 국제표준을 공동 개발하여 2022년까지 IMO에 제출할 계획이다. 또한, 한국조선해양은 울산시와 함께 LNG, 수소 등 친환경 연료의 화물창 기술개발을 추진하고 있다. 2021년 3월 현대중공업그룹은 ‘수소 드림 2030 로드맵’을 통해 한국조선해양과 현대오일뱅크를 주축으로 2030년까지 육상과 해상에서 수소의 생산·운송·저장·활용에 이르는 수소 밸류체인을 구축할 계획을 발표했다. 구체적으로 한국조선해양은 수소의 공급과 운송을 위한 수소운반선과 수소연료전지 및 수소연료공급시스템을 적용한 수소연료전지 추진선을 개발할 계획이고, 현대오일뱅크는 아람코로부터 LPG를 수입해 수소생산과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포집해서 블루수소를 생산하고, 포집한 CO<sub>2</sub>는 아람코로 공급해 탄소제로를 실현할 계획이다. 삼성중공업은 미국 연료전지 제조사인 Bloom Energy와 선박용 연료전지 공동개발 업무협약을 체결하였다.

수소연료전지기업인 에스퓨얼셀과 선박제조기업인 에이치엘비는 2020년 12월 168kW와 252kW급 수소연료전지선박 공동개발 업무협약을 체결하였다. 이를 통해 2021년까지 규제자유특구인 울산에서 실증 운항을 완료하고, 2023년부터는 상용화할 계획이다. 또한, 빈센, 에이치엘비, 범한산업, 한국선급은 협력해서 수소연료전지 선박의 운항 실증, 성능 및 안전성 검증을 추진하고 있다. 2021년 4월 STX중공업과 한국선급은 고체 산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell) 발전시스템에 관한 기술 표준화 및 상용화 업무협약을 체결했다.

<표 11> 국내 주요 수소선박 기술개발 프로젝트 현황

| 연구기관  | 프로젝트명  | 프로젝트 개요                                 | 연구기간            |
|-------|--|---|-----------------|
| 한국선급  | 선박전원용 고체산화물형 연료전지(SOFC)시스템 설계·성능 평가 기술 기반 구축       | 선박용 500kW급 SOFC 시스템 평가 시뮬레이터 개발         | 2010.9-2011.11  |
|       | 미세먼지 무배출 선박용 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) 하이브리드 시스템 개발 및 실증 | 메탄올 개질기반 하이브리드 발전시스템 개발 및 선박 실증 시험 수행   | 2017.12-2021.11 |
| 부산대학교 | 친환경 수소연료전지 추진 선박 R&D 플랫폼 구축                        | 수소연료전지 추진 선박의 핵심 기자재 성능평가 기술 확보 및 기반 구축 | 2019.6-2024.2   |

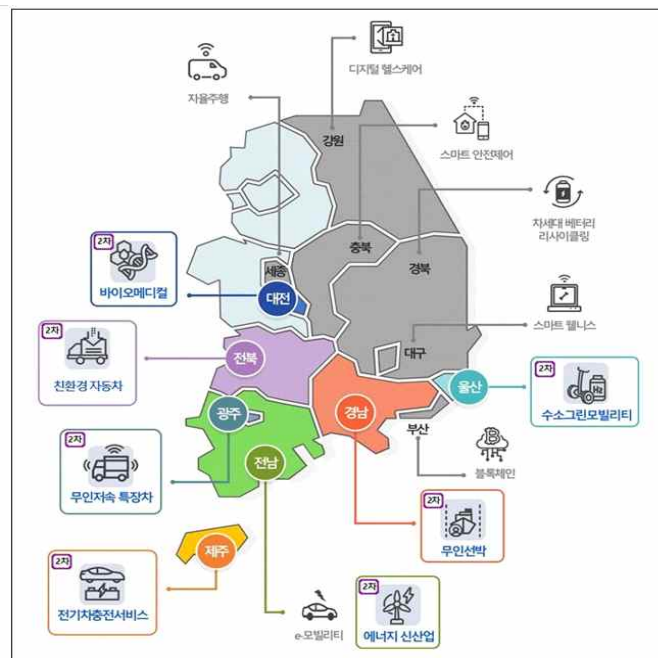
자료 : 한국산업기술평가관리원(2019) KEIT PD Issue Report. Vol. 19-12

소형 친환경선박 전문업체인 빈센은 경북·울산·강원 3곳의 규제자유특구에 실증사업자로 참여하여 친환경선박의 에너지 및 추진시스템을 연구개발하고 있다. 아울러 2020년 10월 전남 영암군과 ‘수소연료전지 기반 레저선박 건조·실증사업’ 업무협약을 맺고 12m급 수소연료전지 레저선박을 개발할 계획이다. 또한, 빈센은 부산 스마트시티 국가시범도시(에코델타 스마트시티)에 전기선박 3척과 수소선박 2척을 공급하고 전기·수소선박 공유서비스를 제공하여, 2024년부터는 리빙랩 형태로 운영하고 2026년부터 실제로 운영할 계획이다.



지자체의 수소선박 개발 관련 현황을 살펴보면, 울산시는 2019년 11월 중소벤처기업부의 '수소 그린모빌리티 규제자유특구'에 선정되었는데, 울주군 온산국가산단 소재 에이치엘비에서 한번 충전으로 6시간까지 운행 가능한 길이 12m의 수소연료전지 소형선박(연료전지파워팩 기준 20kW 이상)을 제작해서 우선 장생포항과 태화강 일원에서 실증사업을 하고 향후 태화강 수소유람선으로 현실화하는 계획을 추진하고 있다. 부산시는 2018년 3월 부산대학교와 국내 27개 단체, 관계기관, 기업체 등이 참여하는 '수소선박추진단'을 발족해 수소 선박을 개발하는 데 필요한 사업들을 구체화하고 있으나 예산확보 문제로 사업실행에 어려움을 겪고 있다. 부산시, 경상남도, 전라남도(영암군)는 2022년 말 인도를 목표로 실제 운항과 실증을 위한 수소연료전지추진선박 시범선 건조를 추진하고 있다.

<그림 38> 중소벤처기업부 지정 2차 규제자유특구(2019.11)



자료 : 중소벤처기업부

<표 12> 울산광역시 수소연료전지 선박 실증사업 목표

| 구분         | 성능지표             |      | 현재 수준 | 사업종료 후 수준 | 비고  |
|------------|------------------|------|-------|-----------|---|
|            |                  | (단위) |       |           |   |
| 수소 연료전지 선박 | 정격 출력            | kW   | -     | 20        | (현 수준) 전기동력<br>(개발 후) 수소연료전지<br>*350기압 충전기준                         |
|            | 운행시간             | hr   | -     | >6        |   |
|            | 충전시간             | min  | -     | 40        |   |
| 선박용 수소충전소  | 선박 1대당 최대 일일 충전량 | kg   | -     | 10        | (현 수준) 국가 R&D 실증 수행 건수 (자동차용 기준)<br>(개발 후) 수소선박 전용 패키지형 수소충전소 구축 건수 |
|            | 충전 압력            | bar  | -     | 350       |   |
|            | 충전 시간            | 분/대  | -     | 40        |   |

자료 : 울산시

#### 다. 그 외 친환경선박 개발 동향

우선 암모니아 생산역량 및 해외생산 암모니아 도입 측면에서 보면, 롯데정밀화학은 암모니아 구매 규모가 세계 3위이고, 국내 암모니아 유통량의 70%를 차지하고 있으며, 국내 최대의 암모니아 저장시설을 보유하고 있다. 2021년 3월 발표된 현대중공업그룹의 '수소 드림 2030 로드맵'에는 사우디아라비아의 아람코로부터 블루 암모니아를 수입하는 계획이 제시되었다. 포스코는 2020년 12월과 2021년 3월에 호주에서 생산한 그린수소를 암모니아로 전환한 후 국내로 들여오는 암모니아 생산계획을 발표했다.

암모니아추진선 개발 동향을 보면, 우선 국내는 한국조선해양 계열사인 현대미포조선이 2019년 10월부터 글로벌 엔진제작사인 MAN Energy Solutions(MAN ES), 로이드 선급(Lloyd's Register; LR)과 함께 암모니아추진선박 공동개발 프로젝트(JDP)를 진행하고 있다. 한국조선해양은 2020년 7월 영국 로이드 선급으로부터 암모니아 추진선에 관한 기본인증(AIP)을 획득하고, 2025년 암모니아 연료 선박의 상용화를 목표로 개발을 추진하고 있다. 수소선박이나 암모니아추진선 외에도, 한국조선해양은 세계최초로 LPG와 CO<sub>2</sub>를 함께 실어나를 수 있는 선박을 개발 중이다. 삼성중공업도 2020년 1월부터 MAN Energy Solutions, 로이드 선급, 말레이시아 선사인 MISC와 암모니아추진선을 개발하고 있다. 삼성중공업은 2020년 9월 로이드 선급에서 암모니아추진 아프리카막스급 원유운반선에 대한 인증을 획득하고, 2024년 상용화를 목표로 개발을 추진 중이다. 대우조선해양은 2019년 암모니아연료 선박의 기술적, 경제적 타당성 조사를 수행하였고, 2020년 10월 암모니아추진 2.3만 TEU급 초대형 컨테이너선에 대해 로이드 선급으로부터 기본인증을 획득하고 2025년 상용화를 추진하고 있다. 2020년 KMS와 EMEC의 합병으로 탄생한 한국선박기술(KmsEmec)은 싱가포르 선사인 Navig8과 공동으로 개발하고 있는 '8K 암모니아 병커링 선박'에 대한 기본 인증(AIP)을 한국선급으로부터 2021년 3월에 획득했다. 2021년 5월 HMM·롯데글로벌로지스(암모니아추진선 운영), 롯데정밀화학(그린 암모니아 운송·저장 및 병커링), 포스코(그린 암모니아 해외생산), 한급선급(인증), 한국조선해양(암모니아 추진선 및 병커링선 개발)의 6개 회사는 '그린 암모니아 해상운송 및 병커링 컨소시엄 업무협약(MOU)'을 체결하였다.

해외 동향으로는 2019년에 독일의 MAN ES가 2024년까지 대형 암모니아추진 엔진 개발 및 상용화 계획을 발표하였다. 2020년에는 노르웨이의 Wärtsilä가 2021년 암모니아 내연기관 테스트를 추진한다고 발표했다.

## V. 경남지역 수소선박산업 육성방안

### 1. 단계별 전략 제시의 필요성

2020년부터 발효 중인 연료유의 황산화물 규제는 저유황유(황함유량 0.5% 이하)를 사용하거나 황산화물 저감장치인 스크리버를 설치하여 대응할 수 있다. 하지만 신조선의 경우 2020년부터 이산화탄소 배출을 20% 이상 절감해야 하는 온실가스 2단계 배출기준 준수를 위해서는 저탄소 연료를 사용하는 LNG추진선 도입이 필요하다. 전기추진선의 경우 배터리의 에너지 집적도가 낮아 대형 또는 장거리운행 선박에 필요한 배터리의 크기가 너무 커지는 문제가 있어 소형 또는 연안선박으로 제한된다.

2025년부터 적용되는 30% 절감을 요구하는 이산화탄소 배출기준에 부합하기 위해서는 LNG나 LPG추진선 만으로는 부족할 수 있다. LNG추진선박의 경우 황산화물(SOx)이나 질소산화물(NOx)을 절감하는 효과는 높으나, 이산화탄소 감축 효과는 15~30%에 그쳐서 LNG추진선 단독보다는 암모니아나 수소와 같은 무탄소 연료와 혼합한 연료를 사용하는 기술을 적용하거나 선박의 에너지효율을 높이는 기술과의 병행이 필요하다. 현재 전망으로는 신조를 기준으로 2025년에는 LNG추진선박이 50%, 기존연료선박이 49%, 무탄소선박은 1% 미만이 되리라 예상되지만, 2035년에는 LNG추진선의 비중이 75%로 확대된 후 무탄소 연료를 사용하는 선박의 비중이 늘어감에 따라 LNG추진선의 비중이 점차 감소할 것으로 보인다. 따라서, LNG추진선 시장규모는 2020년 18조 원에서 2030년 340조 원으로 연평균 34% 성장할 것으로 기대된다. 하이브리드선박의 경우는 시장규모가 2020년 3.7조 원에서 2030년에는 8조 원으로 연간 8% 성장할 것으로 보인다.

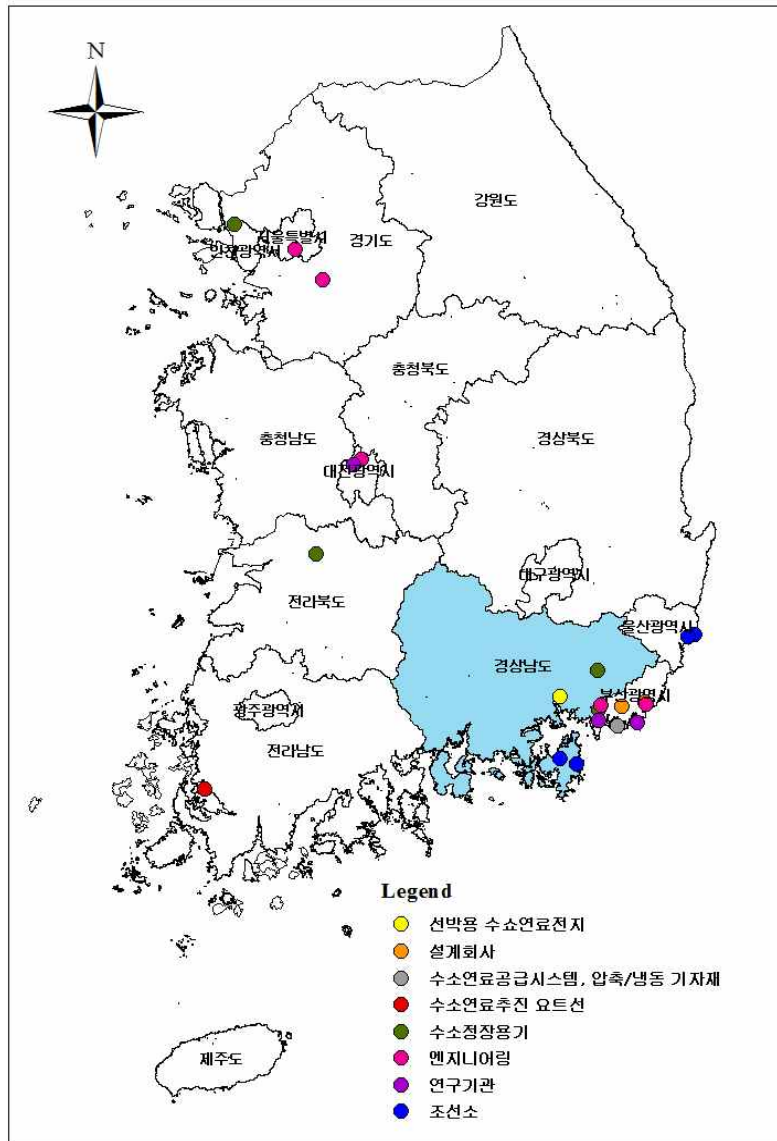
중장기 관점에서는 2050년까지 전 세계 해운부문 총탄소배출량을 2008년 대비 50% 이상 감축한다는 IMO의 목표를 달성하기 위해서 수소나 암모니아 등 무탄소 선박으로 전환되어야 할 것이다. 2030년부터 무탄소선박이 상용화되기 시작하고, 2040년 이후에는 무탄소선박 비중이 LNG추진선박을 넘어서, 2050년에는 시장점유율이 70%에 가까울 것으로 전망된다(2050년 LNG추진선의 비중은 대략 30% 수준으로 전망됨).

### 2. 경남지역 수소선박산업 여건

수소선박 개발은 아직 초기 단계로 현재는 R&D와 함께 실증을 위한 소형 연안선박의 건조를 추진하는 단계이다. 수소선박 연구개발과 관련된 기관으로는 대형조선소부터 설계회사, 기자재 업체, 엔지니어링 업체, 연구기관까지 분야가 다양하며,

20~30여 개의 기관이 주로 부산, 울산, 경남지역을 중심으로 전국에 분포해 있다. 특히, 향후 장거리용 대형 수소선박을 건조할 수 있는 대형조선소 4곳 중 절반인 2곳이 경남 거제에 있어 경남지역이 상대적으로 유리한 여건이다. 따라서, 경남이나 울산 등 조선업체가 집중적으로 분포된 지역을 중심으로 친환경선박 기술 및 기자재를 개발하고, 상용화에 필수적인 시험 및 평가기반을 구축하는 것이 합리적이다.

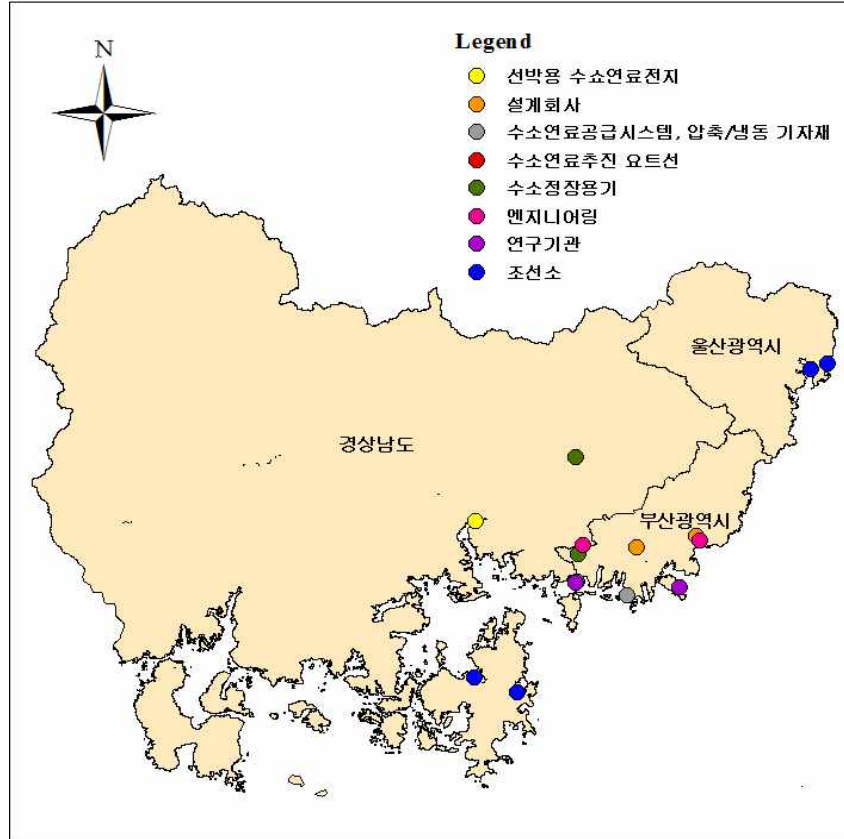
<그림 39> 수소연료전지 추진선박 R&D 관련 기관 및 업체 분포(전국)



&lt;표 13&gt; 수소연료전지 추진선박 R&amp;D 기관 및 업체 현황(전국)

| 업체명          | 분류                   | 주소                    |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| 현대중공업        | 조선소                  | 울산 동구 전하동 1           |
| 현대미포조선       | 조선소                  | 울산 동구 방어동 1381        |
| 대우조선해양       | 조선소                  | 경남 거제시 아양동 182        |
| 삼성중공업        | 조선소                  | 경남 거제시 장평동 530        |
| 한국해사기술       | 설계회사                 | 부산 사상구 감전동 132-7      |
| 한국선박기술       | 설계회사                 | 부산 해운대구 재송동 1209      |
| 이맥           | 설계회사                 | 부산 해운대구 재송동 1208-2    |
| 일진복합소재       | 수소저장용기               | 전북 완주군 봉동읍 용암리 802-15 |
| 원일티엔아이       | 수소저장용기               | 경기 김포시 양촌읍 학운리 2755   |
| 엔케이          | 수소저장용기               | 부산 강서구 지사동 1395       |
| 신영           | 수소저장용기               | 경남 김해시 봉림로158         |
| 선보           | 수소연료공급시스템, 압축/냉동 기자재 | 부산 사하구 다대동 1517-2     |
| 동화엔텍         | 수소연료공급시스템, 압축/냉동 기자재 | 부산 강서구 송정동 1575-6     |
| 범한퓨얼셀        | 선박용 수소연료전지           | 경남 창원시 봉암동 654-4      |
| 빈센           | 수소연료추진 요트선           | 전남 영암군 삼호읍 용암리 1703-8 |
| 이앤코          | 엔지니어링                | 부산 해운대구 우동 1523       |
| 에이치투         | 엔지니어링                | 대전 유성구 용산동 533-1      |
| 삼진야드         | 엔지니어링                | 부산 강서구 미음동 1532-1     |
| 제이엔이시스템      | 엔지니어링                | 서울 서초구 방배동 883-15     |
| 제이브이지        | 엔지니어링                | 경기 용인시 모현읍 능원리 148-2  |
| 한국기계연구원      | 연구기관                 | 대전 유성구 장동 171         |
| 한국조선해양기자재연구원 | 연구기관                 | 부산 영도구 동삼동 1168       |
| 중소조선연구원      | 연구기관                 | 부산 강서구 송정동 1713-4     |
| 선박해양플랜트연구원   | 연구기관                 | 대전 유성구 장동 171-1       |

<그림 40> 수소연료전지 추진선박 R&D 관련 기관 및 업체 분포(부산, 울산, 경남지역)



수소선박 연구개발 기업을 간략히 설명하면 우선 한국조선해양(KSOE) 산하의 현대중공업과 현대미포조선, 대우조선해양, 삼성중공업은 대형조선사로 수소운송선박의 건조 관련 기술을 모으고 있다. 한국해사기술, 한국선박기술, 이맥은 설계회사로 수소운송선과 수소추진선에 관해서 R&D 용역의 형태로 설계를 진행하고 있다. 일진복합소재, 원일티엔아이, 엔케이, 신영은 고압수소탱크와 액화수소탱크의 제작과 관련된 연구를 수행하고 있다. 선보와 동화엔텍은 수소 연료공급시스템과 압축·냉동 기자재와 관련된 연구를 진행하고 있다. 범한퓨얼셀과 현대자동차는 선박용 수소연료전지 기술을 확보하기 위한 연구를 진행 중인데 기존 함정에 연료전지를 탑재한 사례가 있다. 빈센은 수소연료추진 요트를 제작하고 있지만 아직 국내 운행은 불가하다. 이앤코, 에이치투, 삼진야드, 제이엔이시스템, 제이브이지 등은 수소선박 관련 엔지니어링 업체다. 그 외 연구기관으로는 기계연구원이 수소 저장·공급 설비와 관련해서 극저온강재나 수소취성을 견딜 수 있는 재료를 연구하고 있으며, 조선해양기자재연구원과 중소조선연구원이 수소연료전지를 선박에 탑재하는 연구를, 선박해양플랜트연구소가 수소 연료탱크 및 연료전지 관련 연구를 진행 중이다.

### 3. 경남지역 수소선박산업 육성 전략

#### 가. 단기(2022년~2025년)

##### (1) 전략 1: 경남형 수소선박 R&D 플랫폼 및 사업화지원센터 구축

###### ① 세부사업 1: R&D 플랫폼 구축 및 운영을 통한 핵심개발기술 선정 및 R&D 지원

수소선박을 포함한 경남형 친환경선박 R&D 플랫폼을 구축하고 운영을 통해 친환경선박의 핵심개발기술 목록을 선정하고 R&D 효율 극대화를 위한 선별적 집중 투자를 지원할 수 있다. 플랫폼의 일환으로 연구 및 성능평가 설비를 갖춘 전용연구동의 건립이 필요하며, 기술 및 기자재 개발과 실증을 위한 관련 기관과 민간업체간의 워킹그룹을 조직해 R&D 협력을 촉진하고 지원해야 한다. 워킹그룹의 경우 분야별로 조직하는 것이 필요한데, 예를 들어, 금속소재, 단열 및 복합소재, 부품 및 장비, 장비 상용화 및 적용, 인증 및 표준화 그룹을 고려할 수 있다. 친환경선박 사업화지원센터는 시험 건조할 선박을 선정하여 기술개발부터 최종 시험선박 건조까지 생애주기 기술개발을 관장하고, 그 과정에서 필요한 협력에 있어 중심역할을 수행할 산·학·관 협의체의 운영을 지원하는 역할도 기대할 수 있다. 사업화지원센터는 국내외 지식재산권의 동향을 분석하여 제공하고, 선박, 해양, 항만분야의 국제규정이나 표준을 분석하는 역할도 수행한다. 또한, 사업화지원센터는 신기술이나 제품을 대상으로 한 성능 및 안전성 시험, 해외인증 획득 비용 지원 및 서비스 제공, 투자, 보증 및 금융지원 알선, 국내외 마케팅 수행 등 친환경선박 개발부터 사업화까지 전 주기에서 지원하는 역할도 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

시험선박을 건조하여 해상 실증의 수행을 통해 성능과 안전성을 검증하고 실적이 확보된 후 조선업체에 의한 컨테이너선이나 유조선 등 대형선박의 보급으로 확산이 이루어질 것이다.

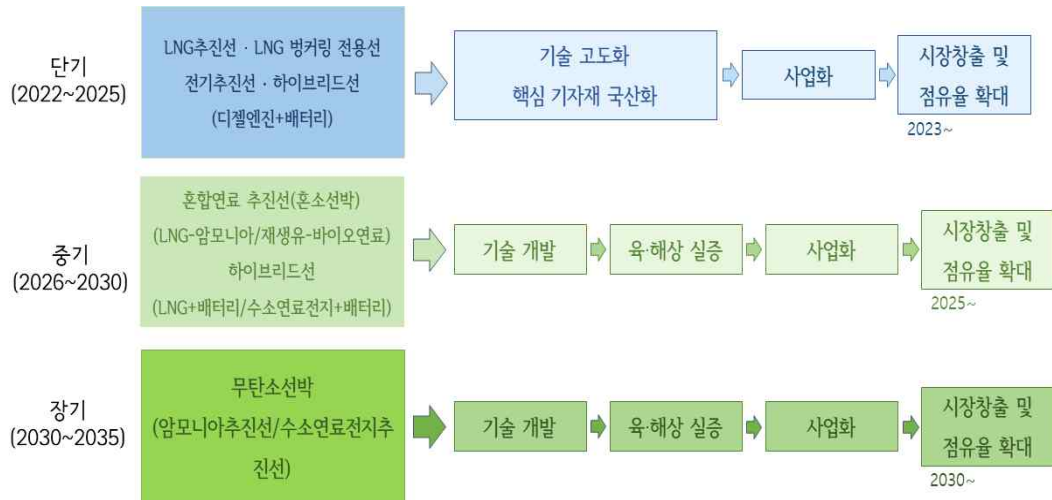
친환경선박 R&D 플랫폼 및 사업화지원센터가 개발을 추진할 수 있는 선박은 다음과 같다.

- LNG추진선박
- LNG 병커링 전용선박
- 전기·하이브리드선박: 디젤엔진+배터리 / LNG+배터리 / 수소연료전지+배터리 하이브리드
- 혼합연료 추진선박: LNG-암모니아 / 재생유-바이오연료 등의 혼소선박
- 무탄소선박: 수소선박·암모니아추진선

## ② 세부사업 2: 친환경선박 분야 해외 선진업체와 협력 추진

수소와 암모니아추진선의 경우 EU, 특히 노르웨이와 독일이 다양한 실증사업 프로젝트를 선도하고 있어 이들 국가의 친환경선박 선진업체와 연구개발 협력 추진이 필요하다. 2019년 6월 문재인 대통령이 노르웨이를 방문하여 수소에너지와 선박 건조 분야에서의 협력을 위한 양해각서에 서명하였고, 그 후속 조치로 한국에너지기술평가원과 노르웨이연구위원회 간에 에너지기술협력 협정서가 체결되었다. 이를 통해 양국 기업은 유관 R&D사업에 상호 참여가 가능하고 국내 연구기관은 노르웨이 정부로부터 지원을 받을 수 있다.

<그림 41> 경남지역 친환경선박산업 육성 전략



## (2) 전략 2: 신기술 인증과 확산을 위한 시험·평가기반 구축 및 국제표준화 지원 체계 구축

수소선박과 암모니아추진선을 포함한 친환경선박 분야는 성능과 안전기준이 전무하거나 상당히 미흡한 실정이다. 2018년 해양수산부의 ‘수소선박 안전기준개발사업’에 따르면 선박용 수소 충전 및 공정제어 안전기준이 전무하고, 선박용 수소 이송 및 적하역 관련 안전기준도 없다. 소형 수소선박은 대체로 고압 압축방식을, 대형 수소선박은 액화 저장방식을 사용하는데 액화수소 수급 기술 연구가 아직 미비하고, 수소 저장용기의 안전기준도 없다. 또한, 미래 친환경선박 기술에 대한 국내 시험 및 평가시설도 전무한 실정이다. 한국선급은 2022년까지 수백kW급 선박용 연료전지시스템에 대한 안전성 검사 및 승인 체계를, 2025년까지 수소운송 및 MW급 선박용 연료전지시스템에 대한 체계를 구축할 예정이다. 따라서, 시험 및 검사기준을 마련하고 시험 및 평가시설 구축을 통해 친환경선박 전주기 안정성 평가 및 확



보가 필요하다. 새로 개발된 기술에 대해서 국제기준이 있더라도 국제선에 적용하기 위해서는 법제정이 필요한데, 기술의 경우 신뢰성과 안전성이 검증되지 않으면 법령에 반영되기 어렵기에 시험·평가기반 마련이 필요하다. 또한, 아직 시험 및 평가기반이 부재하다면 기술개발과 시험·평가기반 마련을 병행해서 추진하는 것이 필요하다. 아울러, 「산업기술혁신 촉진법」을 활용해서 민간 시험기관 등을 대상으로 연구장비나 시설의 구축을 지원하는 것도 고려해볼 수 있다.

### ① 세부사업 1: 혼합연료 품질 및 혼소엔진 성능, 안전성, 신뢰성 평가체계 구축

기존 LNG, LPG와 같은 저탄소연료와 암모니아, 수소, 바이오 연료, 메탄올 등과 같은 무탄소연료와의 혼합연료와 혼소엔진에 대한 성능, 화재나 폭발의 가능성, 신뢰성 등을 평가하는 체계구축이 필요하다.

### ② 세부사업 2: 친환경선박 기자재 성능 검사 및 안전성 평가, 인증 기반 구축

친환경선박 관련 기술이 개발되어 선박에 적용되기 전에 육상에서 시험을 통해 기술 성능 및 안전성, 품질에 관한 평가가 이루어지고, 이와 같은 평가는 국제표준에 따라 시험이 수행되어야 한다. 육상시험 후에는 개별 제품이나 부품을 선박에 탑재한 후에 안전성을 검증하는 절차를 거치게 되고, 이후 상용화로 이어진다. IMO에서는 국제항해 선박용 기자재에 관한 성능요건을 규정하고 있으며, 이 중 123종에 대해서는 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization) 표준을 인용하고 있다. 국내에서는 해양수산부 고시로 '선박설비기준'에 선박 및 선박용 기자재가 적합해야 하며, 선박안전법에 따라 도면승인 및 선박검사에 합격한 후에 사용할 수 있다. 국내에 시험 및 평가, 인증을 수행할 수 있는 국제적으로 인정받는 기관이 없다면 매년 해외시험으로 인한 비용이 발생하고, 일정 지연 등이 발생할 수 있다. 또한, 수소선박이나 암모니아추진선 등 미래 친환경선박에 필요한 기술의 안전과 검사기준이 아직 전무해 성능 검사, 안전성 평가 및 인증 기반을 구축할 필요가 있다.

예를 들어, 성능·품질·안전성을 시험하고 평가가 필요한 항목 일부는 다음과 같다.

- LNG, LPG, 암모니아 등의 혼합연료(혼소연료) 품질 및 안전성
- 혼소엔진 성능 및 안전성
- 암모니아 및 수소연료전지시스템 성능 및 안전성
- LNG 및 수소저장 연료탱크의 단열재 품질 및 성능
- LNG 및 혼합연료 병커링시스템 성능 및 안전성
- 암모니아 내연기관 성능 및 안전성
- 선박용 수소연료공급시스템 성능 및 안전성

### ③ 세부사업 3: 친환경선박 기술 및 기자재 국제표준화 지원

친환경선박 연구개발 사업을 통해 국내기술과 국가표준을 개발하여 국제표준화를 추진하고 반영이 된다면 세계시장 선점에 국내업체들이 유리한 위치를 점할 수 있다. 따라서 아직 공식화되지 않은 잠정기준을 선제적으로 도입하여 신속하게 선박에 적용한 후 기술 안전성을 검증하고 공식기준으로 제도화하는 방법이 필요하다. 이를 행정적으로 지원하기 위해 정부는 2020년 7월 「새로운 형식의 선박시설에 대한 잠정기준 마련에 관한 규정」을 제정하였다. 또한, 규제자유특구(규제샌드박스)의 지정을 통해 제한된 해상지역에서 실증을 통해 일정 기간 신기술 및 새로 개발된 기자재를 선박에 적용하고 안전성을 검증한 후 잠정기준을 검증 및 보완하는 것이 필요하다.

<표 14> 국내 선박 관련 시험 및 평가기관

| 구분               | 시험·평가기관               | 주요 기능                                 |
|------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 전기추진선박           | 한국전기연구원(KERI)         | 6MW급 산업용 대용량 전동기, 발전기 등 성능평가          |
|                  | 한국조선해양기자재연구원(KOMERI)  | 운항환경 모사기법(HILS) 대형 추진 전동기(3MW) 시험 설비  |
|                  | 조선해양 응용실증 기술센터(MASTC) | 운항환경 모사기법(HILS) 대형 추진 전동기(3MW) 시험 설비  |
| LNG추진선박          | 한국기계연구원(KIMM)         | LNG 및 극저온 기자재(펌프, 밸브, 압축기, 열교환기) 성능시험 |
|                  | 한국조선해양기자재연구원(KOMERI)  | 펌프, 로딩암, 재액화설비 등 안전성 및 성능평가 수행예정      |
| 수소연료전지 추진선박      | 부산대학교                 | 선박용 수소연료전지 추진시스템 핵심기술 개발 설비           |
| 선박 엔진·배기가스 시험·평가 | 한국선급(그린쉽 기자재 시험·인증센터) | 중대형 선박엔진 및 배기가스 시험·평가 설비 보유           |
|                  | 한국해양대학교               | 연료전지-배터리 하이브리드시스템, LNG 발전설비 등 보유      |
| 수조시험설비           | 선박해양플랜트연구소(KRISO)     | 국내 예인수조, 빙해수조, 심해해양공학수조 등 보유          |

자료 : 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획('21~'30)

### ④ 세부사업 4: 다목적 해상 테스트베드 구축 및 운영

IMO에서는 향후 친환경선박 개발 예산의 60~70%가 기술 인증기준 마련 및 실증 등에 소요될 것으로 전망하고 있다. EU와 미국, 일본 등 친환경선박 기술 선도국들은 국가 프로젝트를 통해 민간의 연구개발 및 실증, 상용화를 지원하고 있다. 실선 탑재이력(Track record)이 없으면 상용화를 할 수 없고, 대부분의 선사는 실선탑재 이력을 요구하지만, 민간업체에서는 비용 등의 문제로 자체 해상실증을 수행하기 어렵다. 따라서, 민간업체가 실선탑재이력을 갖춰 상용화를 하고 효과적으로 시장에 진출할 수 있도록 해상실증을 전문적으로 수행할 수 있는 다목적 해상 테스트베드를 구축하고 운영하는 것이 필요하다. 기술검증용 테스트베드로는 노후화되어 퇴역하는 관공선을 하이브리드선이나 전기추진선박, 혼소선박, 무탄소연료선박 등으로 개조해서 활용할 수 있다. 이를 통해 민간업체가 개발한 기자재를 실제 환경에서 탑재하여 성능과 안전성을 검증하고, 기술을 보완 및 고도화하여 실용화 및 국제표준화를 지원할 수 있을 것이다.

### (3) 전략 3: 친환경선박 전문인력 교육 프로그램 구축 및 운영

스마트선박 및 친환경선박 관련 기술력이 다른 선진국가에 비해 아직 부족한 상황이므로 산업육성을 위해서는 기술개발 전략과 함께 지자체와 산단 등이 연계해서 기술인력을 양성하는 것이 필요하다. 경남지역에 집중적으로 분포된 조선 관련 대기업 및 중소기업을 중심으로 지역자치단체, 연구소, 대학교를 연계해서 고급 기술인력 양성 및 산업발전 전략의 병행 추진이 필요하다. 이를 위해 가칭 '친환경선박 융복합대학원'의 설립도 고려해볼 수 있다. 또한, 전문기술인력을 새로 양성하는 것 못지않게 현직에 있는 현장기술인력과 종사자의 재교육, 기존 인력을 대상으로 한 실무 중심의 수요자 맞춤형 역량강화 교육훈련 프로그램의 수준별·직무별 개설도 필요하다. 현장기술인력의 재교육과 종사자 역량 강화는 앞서 언급한 '친환경선박 융복합대학원' 내에 프로그램으로 개설하거나 '친환경선박 전문인력 양성센터'를 새로 설립하여 운영하는 방식으로 이루어질 수 있을 것이다. 이와 같은 전문인력 양성 및 교육 프로그램의 구축 및 운영을 통해 경남지역의 수소선박과 친환경선박산업 종사자의 전문성을 강화하고, 새로운 전문인력을 양성하여 산업발전의 다양한 기회를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 나. 중기(2026년~2030년)

##### (1) 전략 1: 기술검증 및 시장진입 지원

###### ① 세부사업: 경남형 수소연료전지 추진 선박 실증프로젝트 추진

국제해사기구(IMO)의 CO<sub>2</sub> 규제가 강화되고 미래에 자율운항선 등장이 예상됨에 따라 전기추진체계로의 전환 필요성이 높아지고 있고, 장기적으로 친환경 수소선박으로의 기술혁신이 빨라질 것으로 기대된다. 수소선박이 개발되고, 실제 수주로 이어지기 위해서는 수소연료탱크, 수소 병커링 시스템, 수소연료추진시스템 개발과 실증을 통한 실선탑재이력(Track Record)의 확보가 필요하다. 유럽 선진국은 이미 수소선박을 실증 운항하는 등 기술을 선도 중이며 한국은 후발주자로 평가되기에 업계의 기술 개발 노력과 정부 및 지자체의 지속적 지원을 통해 미래 수소선박의 핵심기술을 확보하고 조선산업의 지속적인 경쟁우위 유지를 도모할 필요가 있다.

경남이 미래 고부가가치 산업생태계의 하나로 수소선박산업을 육성하기 위해서는 경남을 중심으로 수소선박 실증 프로젝트를 추진하는 것이 필요하다. LNG선의 경우를 보면 국산화율이 60% 내외에 머무르고 있고, 고부가가치 핵심기자재는 대부분 유럽과 일본으로부터의 수입에 의존하고 있다. 후발주자인 국산 기자재 업체는 제품과 기술의 실증 자료가 부족해서 발주처들의 선택을 받지 못하는 악순환이 되풀

이되고 있다. 차세대 미래형 선박으로 주목받고 있는 수소연료선박은 아직 시장이 창출되지 않았기에 향후 시장이 열렸을 때 대형 LNG 선박용 화물창 및 기자재에서의 부진했던 국산화를 반복하지 않기 위해서는 수소연료선박의 건조와 운항실적 확보로 국산 기자재의 검증이 필요하다. 우리나라는 수소연료전지 선박 개발에 있어 선진국에 비해 크기는 약 10년 정도 기술격차가 있지만, LNG운반선 및 수소연료전지 추진기술은 상당한 수준에 도달했기에 빠른 추격이 가능하다. 특히, 연료전지시스템과 관련된 국산 기자재를 대상으로 R&D 투자를 집중하고, 개발된 기자재의 내구성과 안전성에 관한 실증 및 사용실적을 확보할 수 있도록 정부나 지자체의 지원이 절실하다. 우선 20톤급 연안선박용 친환경 수소연료 추진 시험선박을 건조하여 실증을 수행하고, 점차 대형 시험선박 건조 및 실증을 추진하는 단계적 추진이 필요하다. 특히, '규제샌드박스'를 통해 실증특례나 임시허가를 받아 새로 개발된 기술의 선박에의 적용 및 실증, 상용화가 지연되지 않도록 해야할 것이다.

## (2) 전략 2: 공공부문의 선제적 전환을 통한 민간부문 전환 확산 추진

### ① 세부사업: 노후 관공선의 무탄소 친환경선박으로의 전환

경남도나 정부가 보유한 노후 관공선의 친환경선박으로의 전환 추진이 필요하다. 시장 초기에 정부나 지자체가 관용차로 전기차나 수소차를 앞장서서 구매하고 정책적으로 전기버스와 수소버스를 확대했듯이 노후화된 관공선을 수소연료전지 추진 선박으로 대체하고 예인선이나 여객선에도 수소연료전지 추진 시스템을 적용하도록 정책지원이 필요하다. 해양수산부는 2019년 10월 발표한 「2030 친환경 관공선 전환 계획」을 통해 2030년까지 보유한 관공선 모두를 LNG추진선이나 하이브리드선, 또는 미세먼지 저감장치 등을 장착한 친환경선박으로 전환하는 방안을 추진하고 있다. 친환경선박은 일반적으로 건조비가 많이 들기에 민간선사들은 전환에 소극적일 수밖에 없다. 건조비에 대한 대출이자 지원이나 조세감면 등의 인센티브 제공 등을 통해 민간부문에서의 친환경선박 보급 확산을 촉진할 필요가 있다.

<표 15> 국가 관공선 현황<sup>1)</sup>

| 선형   | 10년 이하 | 11~15년 | 16~20년 | 21~25년 | 26~30년 | 31~40년 | 40년 초과 | 합계  |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 정부   | 144    | 27     | 34     | 26     | 10     | -      | 1      | 242 |
| 지자체  | 144    | 59     | 55     | 53     | 32     | 2      | -      | 345 |
| 공공기관 | 97     | 30     | 34     | 22     | 12     | 2      | -      | 197 |
| 합계   | 385    | 116    | 123    | 101    | 54     | 4      | 1      | 784 |

주 : 1) 총 1,138척 중에서 해경함정 354척 제외

자료 : 대한민국정부, 2020. 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획('21~'30)

### (3) 전략 3: LNG, 혼합연료 공급 인프라 구축

우선 LNG의 육상과 해상 공급능력을 확대하고, 다음 단계로 LNG와 암모니아의 혼합연료, 그리고 장기적으로는 무탄소 연료의 공급 인프라를 구축하는 것이 필요하다. 중대형선박을 위해서는 터미널에서 선박으로 연료를 공급하거나 선박에서 선박으로 연료를 공급하는 방식을 고려할 수 있다. 우선, 터미널에서 선박으로 연료를 공급하는 방식(TTS, Terminal-To-Ship)은 배가 터미널에 접안하여 파이프를 통해 연료를 공급받는 형태로 대용량 벙커링이 가능하다. 선박에서 선박으로 연료를 공급하는 방식(STS, Ship-To-Ship)은 해상에 정박하고 있는 선박에 벙커링 선박이나 바지(Barge)선을 통해서 연료를 공급하는 방식이다. 따라서, 연료공급 인프라 구축을 위해서는 연료별 전용 벙커링 선박과 벙커링 터미널 구축이 필요하다. LNG 운반 및 벙커링 겸용선의 경우 2021년 말에 통영에 투입될 예정이며 LNG 벙커링 전용선은 2022년 말에 부산에 투입될 계획이다. 이들 벙커링 전용선은 7,500m<sup>3</sup>의 탱크를 갖추고 연간 37만 톤의 LNG를 공급할 수 있다. 우선 부산이나 인천, 광양, 통영, 평택, 당진, 울산항 등 국내의 주요항만을 중심으로 연료의 공급 및 벙커링 터미널 구축·확대가 필요하다. 이를 위해 벙커링 기술의 개발 및 표준화, 벙커링 기자재 개발에 관한 계획을 세우고 추진하는 것이 필요하다.

#### 다. 장기(2030년~2035년)

##### (1) 전략 1: 무탄소연료 공급 인프라 구축

앞서 수소선박산업 육성을 위한 중기전략에서 제시한 것처럼 장기적으로는 수소와 암모니아 같은 무탄소 연료를 공급하는 인프라가 필요하다. 특히, 암모니아는 LPG와 특성이 유사하여 기존 LPG 인프라를 그대로 활용할 수 있다. Clarkson에 따르면 2019년 기준으로 전 세계에서 암모니아를 수송하는 LPG 운송선은 대략 102척 정도로 파악된다.

2019년 10월에 정부는 「수소기술개발로드맵」을 발표하며 2025년까지 수소 벙커링 기술을 개발하고, 2030년까지 검증 및 항만 실증을 추진하는 계획을 제시하였다. 우선 경남 통영 등을 중심으로 연료공급 인프라를 시험적으로 구축하여 문제점을 보완하고 운영 효과성을 검증한 후 우리나라 주요항만을 대상으로 확대하는 방향이 바람직하다. 즉, 경남 통영에 연료공급 시험 인프라로 연료공급 시험설비와 벙커링 기자재 시험설비를 구축할 필요가 있다.

## (2) 전략 2: 친환경선박 산업 생태계(클러스터) 조성

암모니아추진선 및 수소선박의 보급과 시장 확대를 위해서는 궁극적으로 무탄소 연료의 생산·운송·저장·활용을 아우르는 공급망(Supply Chain) 구축이 필요하다. 그린 암모니아나 그린 수소를 국내에서 생산하거나, 해외에서 생산하여 액화수소나 액화암모니아의 형태로 액화한 후 국내로 운반해 저장했다가 수소나 암모니아 형태로 선박의 연료로 공급하는 인프라 구축이 필요하다. 산업 관점에서는 지자체 주도로 기존 인프라를 기반으로 하여 대기업 중심의 앵커기업과 연관 중소기업을 연계해서 대형조선사와 중소 부품 및 소재기업과의 균형 성장과 산업생태계 조성을 지원해야 할 것이다.

<그림 4> 경남형 친환경선박 생애 전주기 지원체계



## 4. 기간별 수소선박 포함 친환경선박 핵심기술 R&D 목록

국내 수소선박산업의 벨류체인(Value Chain)에서 선박의 역할은 해외에서 생산된 수소를 도입하기 위한 액화수소운송선과 수소연료추진선으로 구분할 수 있다. 액화수소운송선에서는 액화수소화물창과 BOG(Boil Off Gas) 처리시스템, CHS(Cargo Handling System, 적하역) 제어시스템이 핵심기자재이고, 수소추진선박에서는 액체·기체 수소탱크, 수소연료공급시스템(FGSS, Fuel Gas Supply System), 연료전지, 수소터빈, 수소·암모니아 혼소엔진 등이 핵심기자재이다. 수소의 액화에는 -253℃의 극저온 및 수소취성을 견디는 강재의 개발 및 진공단열을 포함한 단열재와 단열기술이 필요하다. LNG의 경우는 -161℃로 액화해서 상압(1bar)에서 운송하기 위해 대략 50cm 두께의 단열이 필요하며, 단열에도 불구하고 운송과정에서 외부로부터 흡수된 열에 의한 기화가 발생한다. 기화된 LNG는 선박의 엔진을 돌리거나 보일러

에 사용된다. 수소의 경우는  $-253^{\circ}\text{C}$ 로 액화해서 상압으로 운송할 때 LNG보다 훨씬 극저온이기에 더 두꺼운 1m의 단열이 필요하고, 역시 운송과정에서 흡수된 열로 기화가 발생하는데 기화된 수소를 처리하는 BOG시스템이 중요하다. 일본 가와사키 중공업은 2019년 12월 액화수소운반선을 건조해서 지금까지 시범 운항을 해오고 있는데, multi-layer로 단열 문제를 해결하려고 시도하고 있다고 알려져 있다. 수소연료전지에서는 0.5~1MW급 연료전지의 개발, 수소혼소 가스터빈 등의 개발이 필요하다.

해외수소 도입의 선결과제는 장거리 수소운송에 있으며, 액체수소(LH<sub>2</sub>)나 액화암모니아와 같은 액상화합물(LOHC)로 전환하여 선박으로 수송하는 방식이 있다. 액체수소 수송은 일본의 HESC 프로젝트로 상업적 검증을 진행하고 있으며, LNG 대비 수소가 갖는 높은 BOG를 피하기 위한 선박 내 냉각설비의 설치, 저장탱크의 단열기술, 그리고 선박 수소 엔진기술 등의 개발 완성도가 낮은 상황이다. 액상화합물 형태로 수송하는 방식은 일반 수송선을 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 수출항과 수입항 양쪽에서 액상화합물을 합성하고 분리하는 설비가 필요하고, 그 과정에서 에너지 투입에 따른 분리비용의 발생, 독성물질에 의한 취약점 등의 문제가 있다. 일본의 경우는 액상화합물과 액화수소 방식 두 가지를 모두 실증하고 있으며, 경제성 측면에서 단기적으로는 액상화합물 운송 방식이, 장기적으로는 액화수소 운송 방식이 더 높을 것으로 판단된다. 하지만 두 방식 모두 기술적 어려움이 존재하기에 핵심기술 개발 및 안전기준 제정이 선행되어야 할 것이다. 한국조선해양은 암모니아 운반 및 추진선을 개발하고 있으며, 수소선박 국제표준을 확보해 수소 운반선과 수소연료추진선 개발을 추진하고 있다. 다음에 제시된 모든 기술과 기자재의 개발이 실제 선박에 적용하고 상용화되기 위해서는 국제협약과 국내법, 선급규칙 제정이 먼저 필요하다.

## 가. 단기(2022년~2025년)

### (1) 핵심기술 확보 목록

#### ① 기술 1: 저탄소 연료(LNG, LPG 등)와 무탄소 연료의 혼합연료를 위한 혼소엔진과 연료공급 및 저장장치 개발

선박가스오일(MGO, Marine Gasoil)이나 LNG, LPG 등 기존 연료와 수소, 암모니아, 바이오 연료, 전기추진 등 무탄소연료·무탄소추진방식과의 혼합 사용을 통해 CO<sub>2</sub>를 감축하고 향후 무탄소연료의 단독 사용을 위한 발판 역할을 기대할 수 있다. 선박기술 선진국인 유럽이나 일본 등은 이미 상용화된 LNG와 중유(HFO, Heavy Fuel Oil)나 바이오 중유를 혼합해서 사용하는 LNG 이중연료 추진선의 보급을 확

대하고, 무탄소 연료와의 혼소엔진과 암모니아추진시스템의 개발을 2025년까지 완료하는 목표를 세우고 있다. 개발 동향으로는 국내에서는 2013년 한국에너지기술연구원에서 자동차용으로 암모니아와 가솔린의 혼소엔진 제어기 및 연료공급장치를 개발하였다. 또한, 저탄소나 무탄소 연료를 가스터빈에 적용하는 복합 가스터빈 기반 전기추진시스템을 선박에 적용할 수도 있다. 해외 개발 동향으로는 독일의 MAN ES가 LPG연료엔진인 ME-IGIP 엔진을 기반으로 암모니아 엔진 개발을 추진 중이고, 일본의 J-ENG는 디젤과 암모니아 혼소엔진을 연구하고 있다.

또 2019년 두산중공업과 한국기계연구원이 세계에서 다섯 번째로 LNG 가스터빈 국산화에 성공하였고, 2020년부터 2025년까지 300MW급 고효율 수소가스터빈용 혼소 연소기 개발을 국책과제로 추진 중이다. 2021년 6월부터 두산중공업, 울산광역시, 한국동서발전, SK가스는 대형 수소가스터빈 실증사업을 진행하고 있는데, 2027년까지 울산복합화력발전소의 가스터빈을 수소가스터빈으로 전환해서 실증할 계획이다. 미국의 GE는 4.5~52MW급 가스터빈을 174K LNG운반선에 탑재하는 기본승인을 2015년 획득하였다. 우선적으로 중소형 선박용 엔진의 저인화점 대체연료 분사시스템과 혼합연료모듈 개발이 필요하다.

연안선박용 LNG와 암모니아 혼합연료 추진 실증선을 건조하고, 상용화를 위해 실증을 수행할 필요가 있다. 이를 위해, 해양수산부는 2021년부터 2025년까지 LNG-암모니아 혼합연료 연소 선박 기술개발 및 실용화를 추진하고 있다. 또한, LNG추진선의 확대를 위한 다양한 연료공급 수단에 대한 병커링 방식의 안전기준 마련도 필요하다.

## ② 기술 2: 소형·연안선박용 고압 기체수소 기반 연료저지 수소선박 기술 개발

고압수소 저장방식의 경우 액화수소를 기화시키는 설비를 추가로 갖출 필요가 없어 구조가 상대적으로 덜 복잡하다. 밸브를 활용하여 압력을 조절하면 상온 조건에서 30~70MPa의 수소를 상압 수준으로 낮출 수 있어 선박 건조비용을 절감할 수 있다. 하지만 기체수소의 경우 부피가 크기에 많은 양의 수소를 저장할 수 없어 연료소모가 상대적으로 적은 단거리를 운항하는 연안선박이나 소형선박에 적합하다. 고압저장탱크를 위해서 개발이 필요한 기술로는 저장용기 내외벽 구조설계, 보강재 및 저장용기 지지구조 설계, 복합재료 라이너 개발 등이 있다. 따라서, 고압 기체수소 기반 연료저지 수소선박 개발을 위해서는 고압수소 저장탱크와 기체수소 연료공급시스템, 연료전지시스템의 개발이 필요하고, 700bar 이상의 고압수소 이송시스템의 개발도 필요하다.



### ③ 기술 3: 1만 톤급 이하 선박용 고체 산화물 연료전지 하이브리드 발전시스템 개발

선박의 연료전지는 선박이 운항하며 경험하는 선체의 6자유도<sup>8)</sup> 운동과 진동, 염분, 악천후 등 다양한 해상환경에서 문제없이 작동해야 한다. 선박에 적용할 수 있는 연료전지로는 PEMFC(고분자 전해질 연료전지), SOFC(고체 산화물 연료전지), MCFC(용융탄산염 연료전지)가 있다. 이 중에서 LNG의 사용이 가능한 SOFC 방식과 소형화가 가능하고 저온에서 열관리가 쉬운 PEMFC 방식이 주목받고 있다. 최근에는 중대형 상선의 보조전원으로 SOFC를 소규모 컨테이너로 만드는 연구가 진행되고 있다.

연료전지 관련 주요 해외기업으로는 캐나다의 Ballard Power Systems, 미국의 FuelCell Energy와 Plug Power, 영국의 Ceres Power, 독일의 SFC Energy가 있으며, 국내기업으로는 두산퓨얼셀, 포스코에너지, 에스퓨얼셀 등이 있다. 이외에도 현대자동차가 수소차량용 연료전지를 연구개발하고 있다. 국내 선박용 연료전지 개발 현황으로는 2010년부터 2011년까지 한국선급에서 '선박 전원용 SOFC 시스템 설계·성능 평가 기술 기반 구축' 프로젝트를 수행을 통해 선박용 500kW급 SOFC 모델 및 시스템 평가 시뮬레이터 개발을 추진하였다. 삼성중공업은 미국의 블룸에너지와의 공동개발을 통해 연료전지 적용 Aframax급 원유운반선에 대한 기본승인을 획득하고 세계최초로 연료전지 추진 원유운반선을 개발하고 있다. LNG를 이용한 SOFC로 보조전원을 대체하는데 LNG 대신에 수소도 활용할 수 있다. 해외의 경우 노르웨이가 PILOT-E 프로젝트를 통해 수소연료추진선박 뿐만 아니라 배터리 추진 선박과 수소연료 및 배터리전기 추진 하이브리드선박을 개발하고 있다.

#### (2) 실증 및 성능·안전성 평가 항목

- ① 혼합연료 추진 중소형(연안선박용) 실증선 건조 및 실증
- ② LNG-수소 하이브리드 중소형 전기추진선박 건조 및 실증
- ③ 연료탱크와 기자재 성능 및 안전성 평가기술 개발

8) 파도에 의한 선체의 운동은 선박에 고정된 x-y-z 좌표계에 대해서 병진운동과 회전운동으로 나뉘며, 병진운동은 전후동요(Surge), 좌우동요(Sway), 상하동요(Heave)로, 회전운동은 각각 횡동요(Roll), 종동요(Pitch), 선수동요(Yaw)로 나뉜다.

## 나. 중기(2026년~2030년)

### (1) 핵심기술 확보 목록

#### ① 기술 1: 무탄소 연료 혼합율을 높여 온실가스 배출을 70% 이상 저감할 수 있는 선박용 수소 혼소 가스터빈 기술 개발

수소와 LNG를 3:7의 비율로 혼소해서 가스터빈에 사용하면 이산화탄소 배출을 10.4% 저감할 수 있고, 5:5 비율로 혼소 시 21.4%를, 10:0 비율이면 100%를 감축할 수 있다. 또한, 수소를 가스터빈에 사용할 경우 수소와 LNG를 혼합해서 적용하면 수소취성 문제를 피할 수 있다. 수소추진선의 경우 수소연료전지나 수소가스터빈을 선박의 주기관으로 사용하기보다는 보조기관으로 사용하는 경우가 더 많을 수 있다는 예상도 있다.

#### ② 기술 2: 수소선박용 극저온(-253℃) 액화수소 연료저장시스템 및 공급시스템 개발 - 화물창, BOG(Boil-Off Gas) 처리시스템, 화물운영시스템(CHS, Cargo Handling System)

액화수소를 화물로서 선박에 저장하는 개념은 예전에도 있었지만, 연료로 액화수소를 사용하기 위한 시스템의 개발은 최근에야 시작되었다. 독일의 MAN Energy Solutions의 계열회사인 MAN Cryo는 액화가스 저장 및 공급시스템과 함께 액화천연가스 추진시스템에서 상당한 기술력을 보유하고 있다. 2018년 말에 세계최초로 70m<sup>3</sup> 용량의 다층단열시스템을 적용한 액화수소 연료공급 시스템에 eo해 DNV-GL(노르웨이-독일 선급)로부터 기본승인(AP, Approval in Principle)을 획득하였다. 일본의 가와사키중공업은 1,250m<sup>3</sup> 규모의 액화수소 화물창에 관해 ClassNK(일본선급)로부터 기본승인을 획득하였으며, 해당 화물창을 적용한 액화수소 운송 시험선박을 호주와 일본 간의 운항을 목표로 건조하였다.

액화수소 저장은 0.5~1MPa 압력에서 -250℃ 이하로 수소를 액화시켜 저장하는 방식으로 이루어진다. 기체인 수소를 액체상태로 변환시키면 부피를 줄일 수 있기에 액화수소 저장방식은 연료 소모가 상대적으로 많은 중대형 선박에 적합하다. 액화수소 저장시스템은 액화수소를 -253℃의 극저온에 저장하기 위한 단열성과 가혹한 해상환경에 견딜 수 있는 충분한 수준의 강도를 확보해야 한다. 따라서, 액화수소 저장과 공급시스템의 설계기술 확보와 함께 금속 및 복합소재를 개발해야 한다. 국내의 경우 선박의 액화수소 저장과 관련된 연구는 2016년 산업통상자원부의 '액체수소 운송선용 CCS 설계 및 검증기술 개발'이 유일하다. 일본의 경우는 오래전부터 소재 개발 및 단열성능 확보 연구를 해왔는데 가와사키중공업의 액화수소운반선의 화물창은 선박의 액화수소 저장탱크로 사용할 수 있다. 구체적으로, 액화저장탱

크에는 극저온과 고압의 환경을 견디고 내수소취성을 갖는 합금이 필요하고, 수소를 영하 250℃ 이하의 액체상태로 유지하고 BOG를 최소화할 수 있는 저밀도·고효율·고분자 복합소재 단열재료와 다층(Multi-layer)단열 구조의 초극 저온 단열시스템 개발이 필수적이다. 수소를 연료전지에 공급하는 장치인 연료공급시스템은 연료전지 가동에 요구되는 일정 온도와 압력으로 수소를 공급하는 수소 공급 장치와 열교환기, 가공 밸브, 액화수소의 온도를 높여 기체로 변환하는 기화기(vaporizer) 등으로 구성된다. 아울러, BOG 처리를 위해서는 액화수소 BOG 계측 및 관리시스템 기술과 BOG 처리용 초저온 압축기(compressor), Vent Master 설계기술 개발이 필요하다.

### ③ 기술 3: 선박용 1~10MW급 대용량 수소연료전지 추진시스템 개발(ESS 포함)

연료전지를 선박에 적용하기 위해서는 MW부터 수십MW급까지 다양하게 구성할 수 있도록 대용량 제품이 개발되어야 한다. 선박 연료전지는 주기관인 엔진 혹은 보조 발전기로 적용할 수 있다. 선박 연료전지는 10년 이상의 내구성이 확보되어야 하며, 소형화를 통해 공간 배치가 쉬워야 한다. 또한, 고장을 최소화하여 신뢰성을 확보하고 부품의 단순화를 통한 유지보수의 용이성, 제조원가의 경쟁력도 갖춰야 한다. 대형선박용 연료전지로는 MCFC나 SOFC와 같은 고온형 연료전지를 꼽을 수 있다. 국내외 개발 현황으로는 2015년에 중소조선연구원이 50kW급 연료전지 기반 소형선박을 개발하였지만, 기술 선진국과 비교해서 규모가 매우 작은 편이다. 현대자동차그룹은 PEMFC 방식으로 500kW급 연료전지를 개발하고 있다. 캐나다의 Ballard Power System은 수소선박 실증프로젝트인 Hyseas III Project와 FLAGSHIPS Project에 선박용 연료전지를 공급하였으며, 노르웨이의 Hyon AS는 선박용 연료전지 모듈을 PILOT-E 프로그램의 고속 페리 프로젝트인 Project ZEFF/SeaShuttle에 공급하였다.

<표 16> 대형 및 중소형 선박의 발전소요 용량 현황

| 선박 종류                  | 발전기           | 발전용량                             | 발전 총용량  | 비고    |
|------------------------|---------------|----------------------------------|---------|-------|
| 대형 LNG선                | 주발전기<br>비상발전기 | 11MW 3대<br>5.5MW 1대<br>0.85MW 1대 | 39.35MW | 전기 추진 |
| 중형 탱커<br>(108,000 DWT) | 보조발전기         | 0.87MW 3대<br>0.25MW 1대           | 2.86MW  | 펌프 등  |
| 예코누리(소형선)<br>(260 GT)  | 주발전기<br>보조발전기 | 1.58MW 1대<br>0.32MW 1대           | 1.9MW   | 전기 추진 |

자료 : KEIT PD Issue Report Vol. 19-12. 한국산업기술평가관리원. 2019.

선박의 경우 선체 부하 급변에 대응하고 선체 전력 공급을 안정적으로 하기 위해 ESS(에너지저장장치; Energy Storage System)가 연료전지시스템과 연계하여 연료전지에서 발생된 전기를 배터리 등의 저장장치에 저장했다가 필요할 때 공급하여 전력사용 효율을 높이는 역할을 수행하는데, 전기 저장에는 리튬이온배터리, Super Capacitor, Nas, Redox Flow Battery 등이 있으며 주로 에너지밀도가 높은 리튬이온전지가 사용된다.

## (2) 실증 및 성능·안전성 평가 항목

- ① 하이브리드 추진선박 에너지 최적화 통합모듈 실증
- ② 암모니아-수소 무탄소 엔진 및 제어기술, 연료공급시스템 시제품 개발 및 평가
- ③ 액체수소 운송선박 및 주요 기자재의 선급 승인절차 및 검증체계 개발
- ④ 수소연료전지 추진 소형·연안선박 건조 및 실증
- ⑤ 수소선박용 극저온(-253℃) 액화수소 연료탱크를 포함한 연료저장시스템 및 공급시스템 성능과 안전성 평가(수소취성 극복 및 단열성 확보 필요)
- ⑥ 대용량 액체수소 운송선박 핵심기술개발 및 주요 기자재 검증 테스트베드 구축 및 운용

## 다. 장기(2030년~2035년)

### (1) 핵심기술 확보 목록

#### ① 기술 1: 고압수소와 액화수소 병커링 기술 개발

수소연료전지선박의 개발과 함께 선박으로의 고압수소 충전기술, 즉 병커링에 필요한 기술과 인프라 구축이 필요하다. 초기 시범사업을 통해 시스템 및 선박, 소규모 인프라를 구축하고 안전성을 검증한 후에 시설의 용량을 늘리는 방향이 적합하다. 이런 단계를 거치며 기술을 개발하여 대형선박 병커링에 필요한 기술을 검증한 후 대규모 인프라로 확장하는 과정이 필요하다.

고압수소 병커링을 위해서는 고압액화수소 기화 기술(기화기), 고압수소 압축 기술(압축기), 고압수소 하적암(Transfer Unloading Arm), 고압수소 병커링 운영을 위한 공정 제어 시스템 설계기술, 고압수소 유량 계측 및 열량 산정 시스템 등의 개발이 필요하다. 액화수소 병커링을 위해서는 병커링 터미널의 액화수소 저장탱크 관련 기술, 펌프를 이용한 액화수소 이송 기술, 액화수소 하적암(Transfer Unloading Arm), 액화수소 병커링 운영을 위한 공정 제어 시스템 설계기술, 액화수소 유량 계측 및 열량 산정 시스템, 수소액화설비 등의 개발이 필요하다.

## (2) 실증 및 성능·안전성 평가 항목

- ① 고압수소·액화수소 병커링 기술과 기자재 성능 및 안전성 평가기술 개발
- ② 항만 수소 병커링 스테이션 실증
- ③ 대용량 액체수소 운송선박 건조 및 실증

## 5. 수소선박 외 무탄소선박산업 병행육성 필요성

현재 친환경선박을 대표하는 LNG선은 2050년까지 2008년 대비 선박 온실가스 배출량 50% 감축이라는 IMO의 목표 달성에 적합하지 않기에 탄소중립 연료를 사용하는 선박이 필요하다. 암모니아는 2050년 탄소 중립 달성을 위한 그린수소의 운송 및 저장 수단의 역할을 포함한 친환경 에너지원으로 주목받고 있다. IEA의 2020년 에너지 전망 보고서에 따르면 2060년 신조선의 60% 이상이 암모니아나 수소 같은 무탄소 연료를 사용하는 친환경선박이 될 것이고, 특히 암모니아가 이 중 절반 가까이인 45% 정도를 차지할 것으로 예상된다.

암모니아는 연소 시 CO<sub>2</sub> 배출이 전혀 없으며, 공급안정성과 보관·운송·취급의 측면에서 수소보다 상대적으로 용이하다. 그리고, 화학적 특성이 액화석유가스(LPG)와 유사해서 현재 조선 및 해운업계에서는 친환경선박의 연료로 수소보다는 암모니아를 더 주목하고 있다. 궁극적으로 그린수소를 연료로 사용하는 수소선박이 도래하겠지만 현재로서 수소는 -253℃의 극저온에서 보관되어야 하고 엔진에 공급하기 위해 다시 온도를 높여야 하는 등 기술적으로 어려움이 있다. 또한, 수소는 부피당 저장 용량이 작아 대용량 저장과 장거리 운송이 어렵기에 액화수소의 형태로 변환해서 이송함으로써 효율을 높일 수 있지만, 수소를 액화하고 그 상태를 유지하는 과정에서 비용이 증가해 아직은 경제성이 낮다. 따라서 수소선박에 필요한 기술이 개발되고 실제 발주와 건조를 거쳐 일반 상선으로 상용화하기까지는 상당한 시일이 걸릴 것으로 예상되며 그 과도기에 LPG 분야에서 세계 최고 기술을 보유하고 있는 한국조선해양과 대우조선해양, 삼성중공업은 2025년까지 이산화탄소를 배출하지 않는 암모니아추진선을 우선적으로 상용화하는 목표를 세우고 있다.

암모니아와 수소가 선박연료에서 차지하는 비중은 2050년 60%(암모니아 45%, 수소 15%)에 육박할 것으로 전망된다(IEA, 2020). 2050년의 선박연료 중 암모니아 비중을 현재의 선박연료 시장규모와 암모니아 가격을 바탕으로 단순 환산 시 약 100조 원 규모로 추산된다. 특히, 암모니아는 수소와 비교해서 높은 에너지밀도를 갖고 있어 대양을 횡단하는 장거리 운송에 적합하다. 또한, 암모니아선박은 수소선박과 비교해서 기술적 난이도가 상대적으로 낮아 가까운 시일 내에 실현될 가능성이 높은 편이다. 연료로써 암모니아는 액화 암모니아 형태로 사용하는데, LPG와 같이 상

온에서도 일정 압력을 가하면 쉽게 액화할 수 있다. 따라서, 국내외 업체에서는 2024~2025년까지 40~50MW급 암모니아 엔진의 상용화를 준비 중이다.

수소를 질소와 반응시켜 암모니아를 발생시킬 때 에너지가 필요하고, 이 에너지를 생산할 때 재생에너지가 아니면 CO<sub>2</sub>가 발생할 수 있다. 그리고, 암모니아를 다시 수소와 질소로 바꿀 때도 에너지가 필요하다. 암모니아는 유독성 물질로 누출되었을 때 문제가 될 수 있다. 또한, 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 공기(산소+질소)와 반응시켜 열을 얻으면 이산화탄소를 배출하지는 않지만 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 다량 발생한다. 그리고, 액화 암모니아의 경우 기존 화석연료와 비교해서 4.1배 정도 큰 탱크가 필요하지만 운송 비용이 저렴하고, 운송 기술도 이미 확보되어 있다. 암모니아의 경우 100% 액화 암모니아를 엔진에 분사하면 주변 온도를 낮춰 엔진 출력이 불안정해지는 문제가 발생하기에 암모니아와 LNG를 3:7의 비율로 혼합해서 LPG엔진에 사용한다. 암모니아 연료는 LPG 엔진에 그대로 또는 조금만 개조해서 사용이 가능한 장점이 있으며, 암모니아 공급 인프라도 기존 LPG 인프라를 사용할 수 있다. 하지만 암모니아 추진기관을 선박의 주기관으로 사용하면 질소산화물이 다량으로 발생할 수 있기에 기존 엔진과 비슷한 크기의 질소산화물 제거장치를 추가로 장착해야 하는 문제도 있다.

암모니아가 선박 연료로 사용되기 위해서는 암모니아의 특성과 수소, 메탄올, 바이오 연료 등 다른 무탄소 연료와의 비교에 기반한 안전성, 비용, 가용성, 오염물질 배출량 관점에서의 검토가 필요하다. 암모니아는 발화점과 점화에너지는 높고, 화염 속도는 낮은 저인화점 발화 특성으로 인해 다른 연료와 혼합해서 대형엔진에 적용할 수 있다. 또한, 암모니아의 공급체인, 즉 생산·저장·수송·활용 공정의 관점에서 기존의 암모니아 생산방식과 향후 그런 암모니아의 생산, 육상 및 해상을 통한 운송, 선박에서 연료로의 적용 등을 포함한 포괄적인 고려가 필요하다. 현재 세계 20대 대형항구가 전 세계 해상 물동량의 50% 이상을 차지하고 있는데, 이들 항구는 미래에 수소와 암모니아 생산 및 저장의 중심지로 자리매김할 것으로 전망된다. 그리고, 암모니아 밸류체인 구축을 위해서는 해외에서 생산된 그린·블루수소를 기반으로 암모니아를 생산해 국내로 운송하고 저장하는 시설의 구축, 암모니아 운송 및 저장 병커링 기술 개발, 암모니아 추진선과 병커링선 개발 및 인증 획득(암모니아 추진선용 내연기관이 현재 두 개의 대형 선박엔진제조회사에 의해 개발되고 있으며 2024년 실용화될 것으로 예상) 등이 필요하다. 아울러, 암모니아는 부식성이 있기에 단독으로 사용하기보다는 혼합연료 추진기술 개발이 선행될 필요가 있다. 암모니아의 단독 사용은 중장기 전략으로 추진하는 것이 바람직하다고 판단된다.

암모니아 연료전지는 암모니아의 개질을 통해 수소를 생산해서 사용하는 방식과 암모니아를 직접 사용하는 방식이 있다. 개질을 통한 수소 사용 방식은 다양한 연료전지를 사용할 수 있다는 장점이 있으며, 주로 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)가 적용된다. 암모니아를 직접 사용하는 방식은 고체산화물 연료전지(SOFC)만 적용

가능하고, 암모니아의 부식 문제로 아직 기초 연구 수준이다. 2018년 일본의 IHI는 1kW급 암모니아 연료전지의 개발 및 대형화 계획을 발표했다. 암모니아추진선의 실증프로젝트로는 노르웨이의 Maritime Clean Tech가 2022년까지 100 kW~2MW급 암모니아 연료전지선박 실증프로젝트인 ShipFC를 진행하고 있다. 현재 상선에 적용할 수 있는 암모니아를 연료로 사용하는 기관은 독일의 MAN Energy Solutions와 핀란드의 바르질라(Wärtsilä)에서 개발하고 있다. 국내 조선사들도 MAN과 함께 암모니아 추진선박을 공동으로 개발하는 프로젝트를 추진하고 있다. 국내의 암모니아 추진선 관련 업체로는 수소선박 R&D 관련으로 언급된 업체 이외에 STX엔진, HSD엔진 등이 있다. 또한, 한국조선해양과 삼성중공업은 암모니아 운반 및 추진선의 개발을 추진하고 있다. 2021년 6월 HMM과 한국조선해양 등 6개 기관은 그린 암모니아의 해상운송과 병커링 컨소시엄 업무협약을 체결하였다. 이 협약에 따라 한국조선해양은 암모니아 추진선과 병커링선을 개발하고 HMM은 실제 선박의 운영을 담당하게 된다.

<표 17> 국내 조선 3사의 친환경선박 개발 목표

| 조선사    | 개발 목표   |
|--------|---|
| 한국조선해양 | 2025년까지 암모니아 추진선 상용화  |
|        | 2030년까지 수소선박 상용화(현대중공업그룹 2030년까지 수소 밸류체인 구축 목표)                               |
| 대우조선해양 | 2025년까지 암모니아 추진선 상용화(2020년 로이드선급(LR)으로부터 2만3000TEU급 암모니아 추진 초대형컨테이너선 기본인증 획득) |
|        | 수소연료전지인 SOFC(고체산화물연료전지)를 적용한 VLCC선박(초대형 원유운반선) 개발 중                           |
| 삼성중공업  | 2024년까지 암모니아 추진선 상용화(2020년 LR로부터 암모니아 추진 Aframax(아프라막스급) 탱커 기본인증 획득)          |
|        | 2022년까지 SOFC 수소연료전지 핵심기술 확보(미국 블룸에너지와 공동 개발)                                  |

한편, 한국조선해양이 2021년 1~5월 중 신규로 수주한 107척 가운데 40%인 43척이 LNG와 LPG를 기존 연료인 병커C유와 함께 사용하는 이중연료 추진선이다. 이중 LPG선은 전 세계에서 발주된 58척 중 60%에 가까운 34척을 수주해 LPG선박에서의 우리나라의 높은 경쟁력을 보여주고 있다. 대우조선해양도 LNG선과 LPG선을 적극적으로 수주하고 있으며, 2021년 3월에는 LNG 이중연료 추진 초대형 원유운반선 10척을 한꺼번에 수주하기도 하였다. 대우조선해양이 2021년 1월부터 5월까지 수주한 25척 중 80%인 20척이 LNG와 LPG 이중연료 추진선이다. 삼성중공업도 2021년 1~5월 중 수주한 42척 가운데 36%인 15척이 이중연료 추진선이다.

## VI. 정책 제언

2020년부터 시행된 황산화물 규제로 해운업이 저유황유를 사용하면서 이로 인한 연료 비용은 50% 내외 증가했다. 2022년부터는 유럽의 항구에 기항하기 위해 별도의 온실가스 배출권을 구매해야 한다. 2023년부터는 EEXI 기준을 통과하지 못하는 선박은 운항속도를 줄여야 하고, CII 등급이 낮으면 높은 비용을 투자해 효율을 개선하거나 시장에서 퇴출당하게 된다. 이처럼 갈수록 강화되는 국제 환경규제에 기존의 노후 선박들이 계획된 수명보다 조기에 폐선되면서 신조선으로 교체 발주가 이어질 것으로 전망된다. 조선업에서 우리나라와 경쟁하는 중국은 가격경쟁력과 내수시장 규모를, 일본은 소재·부품·장비 기술 수준을 바탕으로 시장에서 우위를 점하기 위해 치열하게 노력하고 있다. 수소연료선박은 LNG나 LPG선과 같은 저탄소 선박과 달리 탄소를 전혀 배출하지 않는 무탄소 선박으로 조선업 기술혁신 패러다임의 변화를 상징하는 친환경 선박이다. 수소를 동력으로 사용하면 이산화탄소뿐만 아니라 황산화물과 질소산화물을 전혀 배출하지 않을 수 있고 기존의 화석연료를 사용하는 내연기관보다 에너지효율을 40% 이상 높일 수 있다. 수소선박 상용화를 위해서는 소재·부품·장비에서 높은 기술력이 필요하며 이를 통해 새로운 고부가가치 시장을 창출하고, 조선업이 한 단계 성장하고 도약할 수 있다. 우리나라는 수소선박 연구개발에서 선진국보다 약 10년 정도 늦었지만, 세계 1, 2위를 다투는 탄탄한 조선업 기반을 갖추고 있으며, -163℃가 요구되는 LNG선박 관련 세계 최고 수준의 극저온 기술과 상당한 수준의 자동차용 수소연료전지 기술을 보유하고 있어 조기 추격뿐 아니라 향후 수소선박 시장을 선도하는 것도 기대해볼 수 있다. 앞으로 10년간 노후 선박의 교체 수요로 강화된 환경규제를 충족하는 신조선 발주가 대폭 증가할 것으로 전망된다. Lloyd's List Intelligence에 따르면 이산화탄소 배출규제로 2030년에 해체되는 선박의 규모는 2020년과 비교해 75% 늘어난 1만 300척으로 예상된다. IEA는 2020년 에너지 전망 보고서에서 선박 연료로 암모니아, 수소 등의 사용 비중이 점차 확대되어 2060년에는 신조선의 60% 이상이 수소나 암모니아 등 무탄소 연료를 사용할 것으로 전망했다.

EU와 미국, 일본 등 친환경선박 기술 선진국은 자국 업체의 시장진입 및 선점을 위해 2000년대부터 다양한 국가 프로젝트를 진행하며 핵심기술을 확보하고 기자재의 개발 및 실증, 상용화를 지원하고 있다. 따라서, 경남도는 민간업체의 기술개발을 지원하는 것뿐만 아니라, 건조비용에 부담을 느끼는 중소조선사나 소재부품업체를 위해 신기술과 기자재를 적용한 선박을 공공선박 등으로 건조하고 운영하는 프로젝트를 주도적으로 추진하여 정부 및 지자체 주도로 수요를 창출할 필요가 있다. 또한, 이를 통해 기술성, 안전성 및 경제성 검증과 함께 민간 기자재 업체가 실선탍 재이력(Track Record)을 갖추도록 해 상용화와 시장진입, 주도권 확보를 지원할 수



있다. 민간에서는 비용 등의 문제로 자체 해상실증을 수행하기가 어렵고, 실선탕재 이력이 없으면 상용화와 국제해운 대형선박에의 적용이 어려워 국가 및 지자체 차원의 지원이 필요하기 때문이다. 아울러, 선령 25년을 초과하는 노후 관공선을 친환경 경선박으로 단계별로 전환해서 아직 시장이 전무하거나 초기 단계인 친환경선박 시장에서의 진입과 판로개척을 지원할 필요도 있다. 이 과정에서 전환되는 노후 공공선박을 개조하여 해상 테스트베드로 사용하는 것도 고려해볼 수 있다.

수소선박시장은 아직 존재하지 않고 연구개발을 시작, 진행하는 단계로 장기계획을 수립하여 지원해야 하는데, 국내의 관련 기관은 주로 부산, 울산, 경남지역을 중심으로 분포해 있다. 특히, 대형 수소선박을 건조할 수 있는 대형조선소 4곳 중 절반인 2곳이 경남 거제에 있어 경남지역이 상대적으로 유리한 여건이다. 따라서, 조선업체가 집중적으로 분포된 경남지역을 중심으로 친환경선박 기술 및 기자재를 개발하고, 상용화에 필수적인 시험 및 평가기반을 구축하는 것이 합리적이다.

우선, 경남형 수소선박 R&D 플랫폼과 친환경선박 사업화지원센터를 구축하고 운영하여 친환경선박의 핵심개발기술 목록을 선정하고 R&D 투자효율 극대화를 위한 선별적 집중 투자를 지원할 수 있다. 아울러, 기술 및 기자재 개발과 실증을 위한 관련 기관과 민간업체 간의 워킹그룹을 분야별로 조직해 R&D 협력을 촉진하고 지원해야 한다. 친환경선박 사업화지원센터는 시험 건조할 선박을 선정하여 기술개발부터 최종 시험선박 건조까지 생애주기 기술개발을 관장하고, 그 과정에서 필요한 긴밀한 협력에 있어 중심역할을 수행할 산·학·관 협의체의 운영을 지원하는 역할도 기대할 수 있다. 사업화지원센터는 국내외 지식재산권의 동향을 분석하여 제공하고, 선박, 해양, 항만분야의 국제규정이나 표준을 분석하는 역할도 수행한다. 또한, 사업화지원센터는 신기술이나 제품을 대상으로 한 성능 및 안전성 시험, 해외인증 획득 비용 지원 및 서비스 제공, 투자, 보증 및 금융지원 알선, 국내외 마케팅 수행 등 친환경선박 개발부터 사업화까지 전 주기에서 지원하는 역할도 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 이 과정에서 경남지역에 집중적으로 분포된 조선 관련 대기업 및 중소기업을 중심으로 지역자치단체, 연구소, 대학교를 연계해서 고급 기술인력 양성 및 산업발전 전략의 병행 추진이 필요하다. 이를 위해 가칭 '친환경선박융복합대학원'의 설립도 고려해볼 수 있다. 또한, 전문기술인력을 새로 양성하는 것 못지않게 현직에 있는 현장기술인력과 종사자의 재교육, 기존 인력을 대상으로 한 실무 중심의 수요자 맞춤형 역량강화 교육훈련 프로그램의 수준별·직무별 개설도 필요하다. 현장기술인력의 재교육과 종사자 역량 강화는 앞서 언급한 '친환경선박융복합대학원' 내에 프로그램으로 개설하거나 '친환경선박 전문인력 양성센터'를 새로 설립하여 운영하는 방식으로 이루어질 수 있을 것이다.

친환경선박을 대표하는 LNG선은 2050년까지 2008년 대비 선박 온실가스 배출량 50% 감축이라는 IMO의 목표 달성에 적합하지 않기에 탄소중립 연료를 사용하는 선박이 필요하다. 암모니아는 2050년 탄소 중립을 달성하기 위한 수소의 운송 및

저장 수단의 역할을 포함한 친환경 에너지원으로 주목받고 있다. 암모니아는 연소 시 CO<sub>2</sub> 배출이 전혀 없으며, 공급안정성과 보관·운송·취급의 측면에서 수소보다 상대적으로 용이하다. 그리고, 화학적 특성이 액화석유가스(LPG)와 유사해서 현재 조선 및 해운업계에서는 친환경선박의 연료로 수소보다는 암모니아를 더 주목하고 있다. 궁극적으로 그린수소를 연료로 사용하는 수소선박이 도래하겠지만 현재로서 수소는 -253℃의 극저온에서 보관되어야 하고 엔진에 공급하기 위해 다시 온도를 높여야 하는 등 기술적 난이도가 상당하고 경제성에서도 한계가 있다. 따라서 수소선박에 필요한 기술이 개발되고 실제 발주와 건조를 거쳐 일반 상선으로 상용화하기까지는 상당한 시일이 걸릴 것으로 예상되며 그 과도기에 LPG 분야에서 세계 최고 기술을 보유하고 있는 우리 조선업계가 암모니아추진선을 우선적으로 상용화하는 것도 필요하다.

장기적으로는 암모니아추진선 및 수소선박의 보급과 시장 확대를 위해서 무탄소 연료의 생산·운송·저장·활용을 아우르는 공급망(Supply Chain) 구축이 필요하다. 향후 수소사회가 본격적으로 열리면 그린 암모니아나 그린 수소의 수요가 높아질 것이다. 해외에서 값싼 재생에너지로 그린 암모니아나 그린 수소를 생산해 액화수소나 액화암모니아의 형태로 액화한 후 국내로 운반하여 저장했다가 수소나 암모니아 형태로 선박의 연료로 공급하는 인프라 구축이 필요하다. 따라서, 액화수소나 액화암모니아를 운반할 수 있는 운반선의 개발도 필요하다. 국내 기반의 그린수소 생산과 관련하여서는 한국조선해양의 자회사인 현대중공업이 부유식 풍력단지에서 생산된 전력으로 바닷물을 수전해하는 대규모 수전해 기반 그린수소 플랜트 개발을 추진하고 있다. 산업 관점에서는 지자체 주도로 기존 인프라를 기반으로 하여 대기업 중심의 앵커기업과 연관 중소기업을 연계해서 대형조선사와 중소 부품 및 소재기업과의 균형 성장과 산업 클러스터 조성을 지원해야 할 것이다.

이를 통해, 경제적으로는 친환경선박 분야에서의 조선산업 경쟁력 확보 및 수주 세계 1위 달성 등 세계 선도 지위 유지를 기대할 수 있고, 경남지역 내 조선사의 친환경선박 신조 건조 물량 확보로 친환경선박 시장 진입 및 선점의 가능성을 높일 수 있다. 또한, 친환경선박 시장 활성화를 통해 조선업에 의존하는 지역경제를 활성화하고, 조선산업의 매출 증가, 부가가치 창출, 고용 유발을 도모할 수 있다. 기술적 기대효과로는 친환경선박 기술 선도국인 노르웨이, 독일, 미국과 비교해서 뒤쳐진 친환경선박 기술을 확보하고 핵심기자재의 국산화를 달성할 수 있을 것이다. 아울러, 조선 경쟁국인 중국, 일본과 비교해서 친환경선박 기술 및 건조 경쟁력을 확보하여 기술격차를 유지할 수 있을 것으로 기대된다. 환경적 기대효과로는 친환경선박 도입 및 보급 확대를 통한 온실가스 및 미세먼지 배출량 절감으로 환경 개선 및 사회적 편익 증가를 도모하고, 유럽연합의 탄소국경세 도입과 온실가스 배출에 따른 탄소배출권 구입 비용 증가, 강화되는 국제 해운·조선산업 환경규제에 더욱 적극적으로 대응이 가능할 것이다.

## 〈부 록〉

### 1. 수소의 생산과 수요 전망

#### 가. 수소의 생산

수소는 천연가스, 석탄, 석유, 재생에너지, 원자력을 포함한 다양한 에너지 자원에서 생산할 수 있다. 오늘날 수소 대부분은 화석연료로부터 생산되며, 그 중 약 75%는 천연가스를 CCUS(Carbon capture, utilization and storage: 탄소 포집, 활용 및 저장) 없이 개질해서 생산하고, 나머지 25%의 대부분은 중국에서 석탄으로부터 생산한다. CCS(Carbon capture and storage: 탄소 포집 및 저장)와 결합한 화석연료로부터의 수소생산은 지리적 및 사회적 수용성을 전제조건으로 한다. CCUS를 결합한 천연가스와 재생에너지로부터의 저탄소 수소생산의 비용경쟁력은 천연가스와 재생에너지 가격에 의해 결정된다. 현재 천연가스로부터의 개질을 통한 수소생산 비용은 USD 0.7-1.6/kgH<sub>2</sub> 정도다. 이 과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포집하면 비용은 대략 USD 1.2-2.0/kgH<sub>2</sub>로 높아진다. 재생에너지로부터의 수전해를 통한 수소생산 비용은 USD 3.2-7.7/kgH<sub>2</sub> 수준이며, 재생에너지와 수전해 기술발전에 따른 비용하락으로 세계 일부 지역에서는 재생에너지를 활용한 수전해 기반 수소생산이 천연가스 개질을 기반한 수소생산과 비교해 가격경쟁력을 갖추고 있다.

오늘날의 에너지 부문에서 수소의 사용은 정유부문이나 화학부문에서 암모니아 및 메탄올의 생산으로 제한되어 있다. 2019년 기준 세계 수소 수요량은 약 75MtH<sub>2</sub> (또는 215Mtoe)이다.

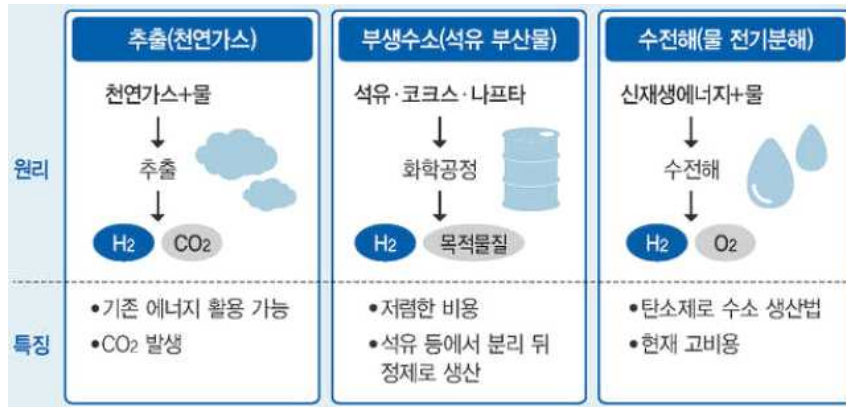
〈표 18〉 수소 생산방법에 따른 분류

| 수소 종류        | 생산방법                    | 상대적 생산비용        | 현재 생산량 |
|--------------|-------------------------|-----------------|--------|
| 그레이(Grey) 수소 | 화석연료로부터 생산              | 1               | 99% 이상 |
| 블루(Blue) 수소  | 그레이수소에 탄소 포집 및 저장기술을 적용 | - <sup>1)</sup> | 0.7%   |
| 그린(Green) 수소 | 신재생에너지의 전력으로 수전해        | 2.5             |        |

주 : 1) 생산비용은 그레이수소와 같으나 탄소 포집 및 저장(CCS, Carbon Capture and Storage) 설치 및 운용 비용이 추가됨

자료 : 한국해양교통안전공단. 2021

<그림 43> 수소 생산방법의 원리와 특징



자료 : 수소융합얼라이언스추진단

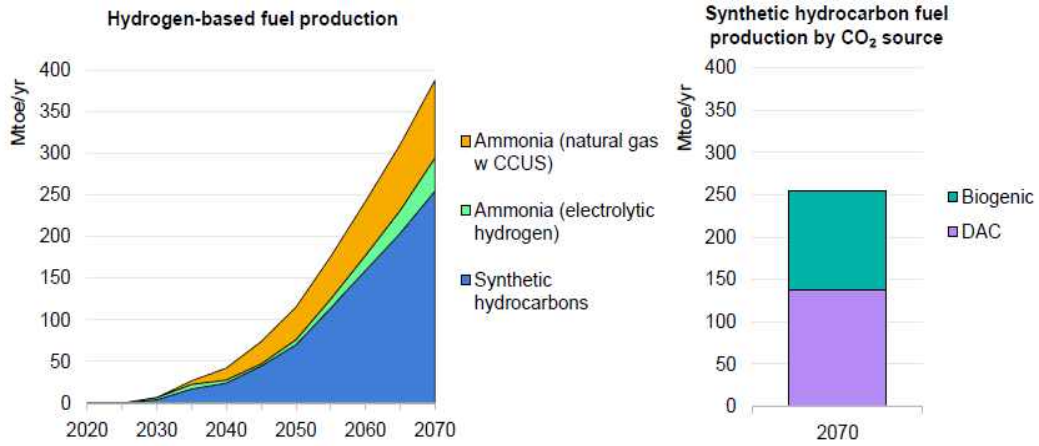
<표 19> 수소 생산방법의 원료, 에너지원, 기술수준 비교

| 구분        | 방법       | 원료             | 에너지원          | 기술수준 |
|-----------|----------|----------------|---------------|------|
| 화석연료 이용   | 수증기 개질   | 천연가스, LPG, 나프타 | 열             | 상용   |
|           | 이산화탄소 개질 | 천연가스           | 열             | -    |
|           | 부분산화     | 중질유, 석탄        | 열             | 상용   |
|           | 자열개질     | 천연가스, LPG, 나프타 | 열             | 상용   |
|           | 직접분해     | 천연가스           | 열             | 상용   |
| 비 화석연료 이용 | 전기분해     | 물              | 전기            | 상용   |
|           | 열화학분해    | 물              | 고온열(원자력, 태양열) | 연구중  |
|           | 생물학적 분해  | 물 또는 바이오매스     | 열, 미생물        | 연구중  |
|           | 광화학적 분해  | 물              | 태양광           | 연구중  |

자료 : 한국해양교통안전공단, 2021

IEA는 수소생산량이 2050년에는 현재의 6배까지 증가할 것으로 전망했다(2021년). 해운과 도로교통, 중공업에서의 수소 수요를 맞추기 위해 대부분의 수소가 수전해와 CCUS를 결합한 천연가스로부터 생산될 것으로 예상하고 있다. 또한, IEA는 수전해 수소로부터 합성탄화수소계 연료 총 250Mtoe, CCUS를 결합한 천연가스(70%)와 수전해 수소(30%)로부터 암모니아 130Mtoe가 생산될 것으로 전망했다(2020년).

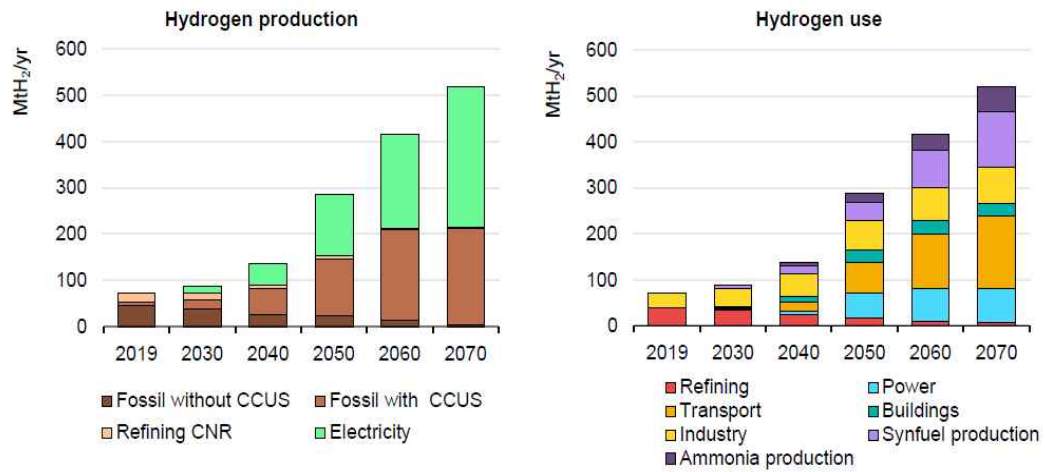
<그림 44> 2019-2070년 수소기반 연료의 생산 전망



주 : Biogenic CO2 refers CO2 captured at biomass conversion processes, such as biofuel production or biomass-fired power plants; DAC: Direct Air Capture

자료 : IEA. Energy Technology Perspectives 2020

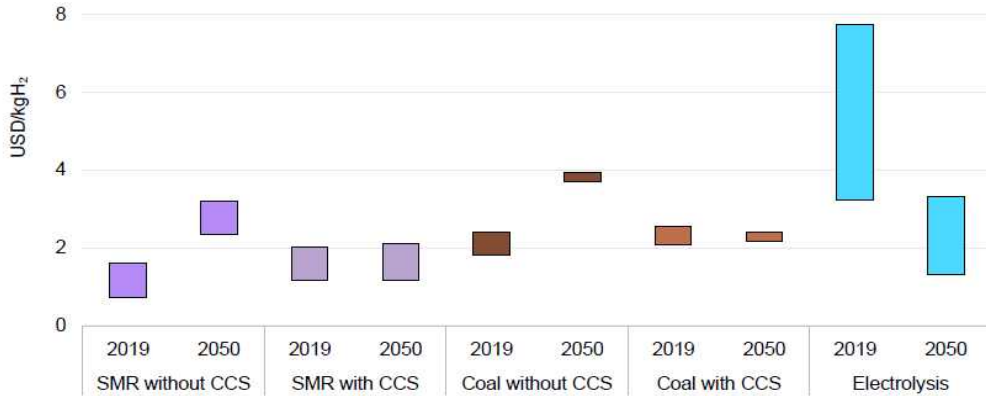
<그림 45> 글로벌 연료별 수소생산량과 부문별 수소 수요: 2019-2070



주 : CCUS = Carbon capture, utilization and storage; Refining CNR: 정유화학에서 촉매 나프타 개질에 의한 수소생산

자료 : IEA. Energy Technology Perspectives 2020

<그림 46> 2019년과 2050년 기술별 수소생산 비용 비교



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: CCS = carbon capture and storage; SMR = steam methane reforming; coal = coal gasification. Electrolysis based on dedicated renewables-based generation.

Capital expenditure (CAPEX) assumptions: SMR without CCUS - USD 910/kWH<sub>2</sub> (2019 and 2050), SMR with CCS - USD 1 583/kWH<sub>2</sub> (2019) and 1 282/kWH<sub>2</sub> (2050); coal without CCUS - USD 2 672/kWH<sub>2</sub> (2019 and 2050); coal with CCS - USD 2 783/kWH<sub>2</sub> (2019 and 2050); electrolysis - USD 872/kW<sub>e</sub> (2019) and USD 269/kW<sub>e</sub> (2050).

Operating expenditure (OPEX) assumptions (as % of CAPEX): SMR without CCS - 4.7% (2019 and 2050), SMR with CCS - 3.0 % (2019 and 2050); coal with and without CCS - 5.0% (2019 and 2050); electrolysis - 2.2% (2019) and 1.5% (2050).

Efficiency assumptions (lower heating value): SMR without CCS - 76% (2019 and 2050), SMR with CCS - 69% (2019 and 2050); coal without CCS - 60% (2019 and 2050), coal with CCS - 58% (2019 and 2050); electrolysis - 64% (2019) and 74% (2050).

Full-load hour assumptions: SMR and coal gasification 8 322 hours (2019 and 2050); electrolysis 3 000-4 000 hours (2019) and 2 000-3 000 hours (2050). Stack lifetime: 100 000 hours.

System lifetime assumptions: 30 years.

Fuel price assumptions: natural gas - USD 1.4-6.3 per gigajoule (GJ) (2019) and USD 1.7-7.0/GJ (2050); coal - USD 1.6-3.8/GJ (2019) and USD 1.0-2.2/GJ (2050); electricity - USD 36-116 per megawatt-hour (MWh) (2019) and USD 20-60/MWh (2050).

CO<sub>2</sub> capture rate assumptions: SMR with CCS - 95%, coal with CCS - 90%.

CO<sub>2</sub> price assumptions: USD 0-15/tCO<sub>2</sub> (2019) and USD 180/tCO<sub>2</sub> (2050).

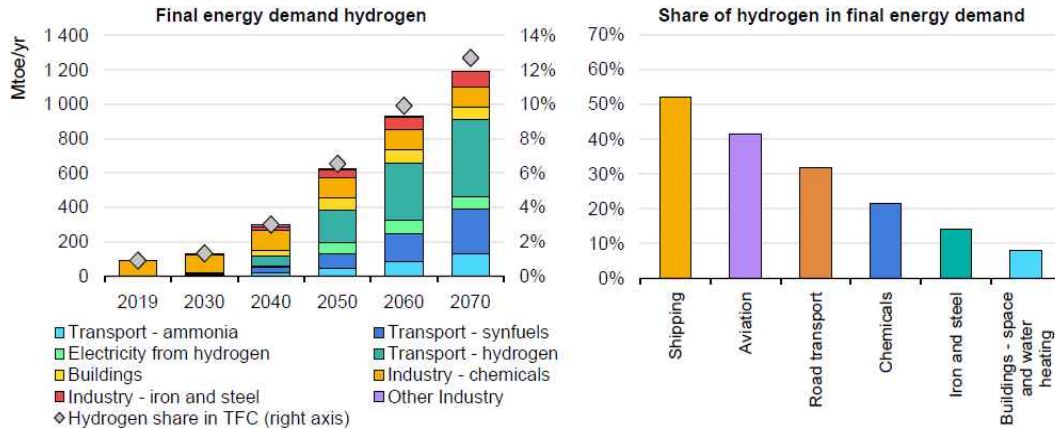
CO<sub>2</sub> transport and storage cost assumptions: USD 20/tCO<sub>2</sub>. Representative discount rate for this analysis is 8%.

자료 : IEA. Energy Technology Perspectives 2020

## 나. 수소의 수요 전망

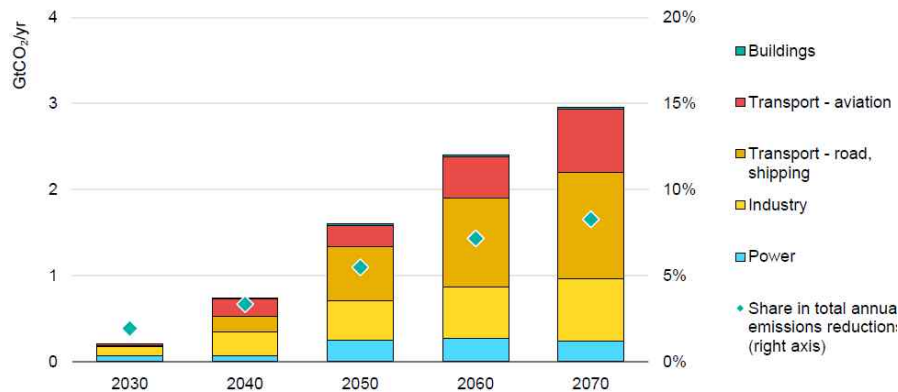
세계 수소 수요는 2019년과 비교해서 2070년까지 7배 증가한 520MtH<sub>2</sub>로 전망하고 있다(IEA, 2020). 수소는 2070년까지 글로벌 최종에너지 수요에서 13%를 차지하고, 대부분의 수요는 교통과 산업부문에서 발생할 것으로 전망된다. 2070년 기준으로 수소 수요의 30%는 자동차, 트럭, 선박을 포함한 교통부문이, 20%는 합성등유와 CO<sub>2</sub> 생산 용도로 항공부문이 차지할 전망이다. 그리고 10%는 수송부문 연료를 위한 암모니아로 전환되어 전체 수송부문 연료 수요가 거의 50%를 충족할 것으로 예측하고 있다. 그 외에 15%는 화학 및 제철부문이, 15%는 전력생산부문이, 5%는 건물 난방이나 온수 공급이 차지할 것으로 전망된다. 또한, 2070년 총 전력의 대략 9%를 이용해서 생산된 총 390Mtoe의 수전해 수소에 의해 항공업 에너지 수요의 40%는 합성등유가, 해운업 연료 수요의 50%는 암모니아가 충족할 것으로 전망된다.

&lt;그림 47&gt; 글로벌 수소 최종에너지 부문별 수요 및 수소의 비중



자료 : IEA. Energy Technology Perspectives 2020

2070년 기준으로 수소에 의해 연간 CO<sub>2</sub> 배출량의 8%가 절감될 것으로 전망된다 (또는 2019-2070년 동안 누적 배출 절감량의 6%). 절감량 8% 중 6%는 교통부문이, 2%는 산업부문이 차지할 것으로 예상된다. 오늘날 수소는 그레이수소로서 화석연료의 개질을 통해 생산되기에 2019년 기준 전 세계 에너지 부문 CO<sub>2</sub> 배출량의 2%인 800MtCO<sub>2</sub>를 배출하고 있다. 하지만 향후에는 블루수소(화석연료 개질에 CO<sub>2</sub> 포집 및 저장장치인 CCUS 포함)나 그린수소(신재생에너지와 같은 저탄소 전력을 이용한 수전해를 통해 생산)가 수소생산의 대부분을 차지할 것으로 기대된다. 2070년 기준 블루수소와 그린수소는 전체 수소생산의 99%인 513MtCO<sub>2</sub>를 차지할 것으로 전망되는데, 이 중 50% 이상은 수전해로 생산하고 나머지 40%는 블루수소가 차지할 것으로 보인다.

<그림 48> 부문별 수소에 의한 글로벌 CO<sub>2</sub> 배출 저감량

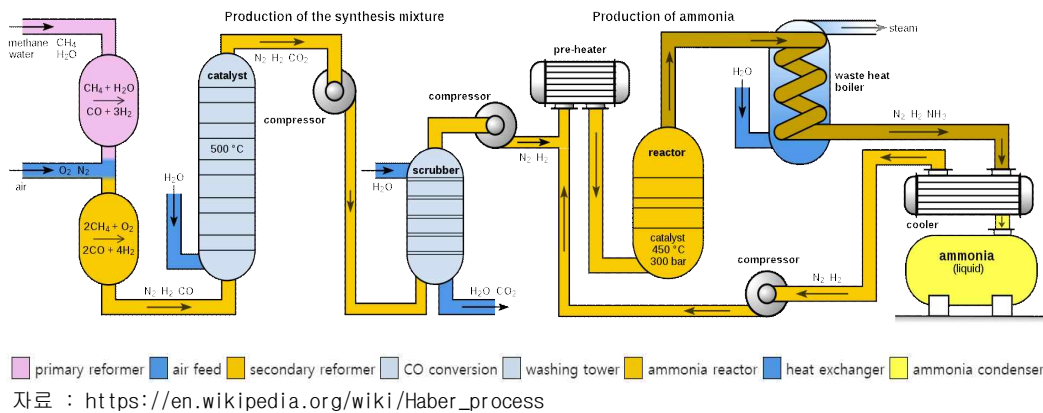
자료 : IEA. Energy Technology Perspectives 2020

## 2. 암모니아의 생산과 수요

### 가. 암모니아의 생산과 그린 암모니아

전통적으로 암모니아는 천연가스나 석탄을 고압(~200bar)과 고온(300~400°C)으로 반응시키는 Haber-Bosch 공정을 통해 생산한다. 즉, 천연가스를 개질하거나 석탄의 가스화를 통해 수소를 생산 분리하고, 수소와 질소의 반응( $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ )을 통해 합성한다. 이 과정은 고온과 고압이 요구되기에 에너지 사용량이 많고, 세계 이산화탄소 배출량의 약 1~2%가 생성되는 것으로 알려졌다.

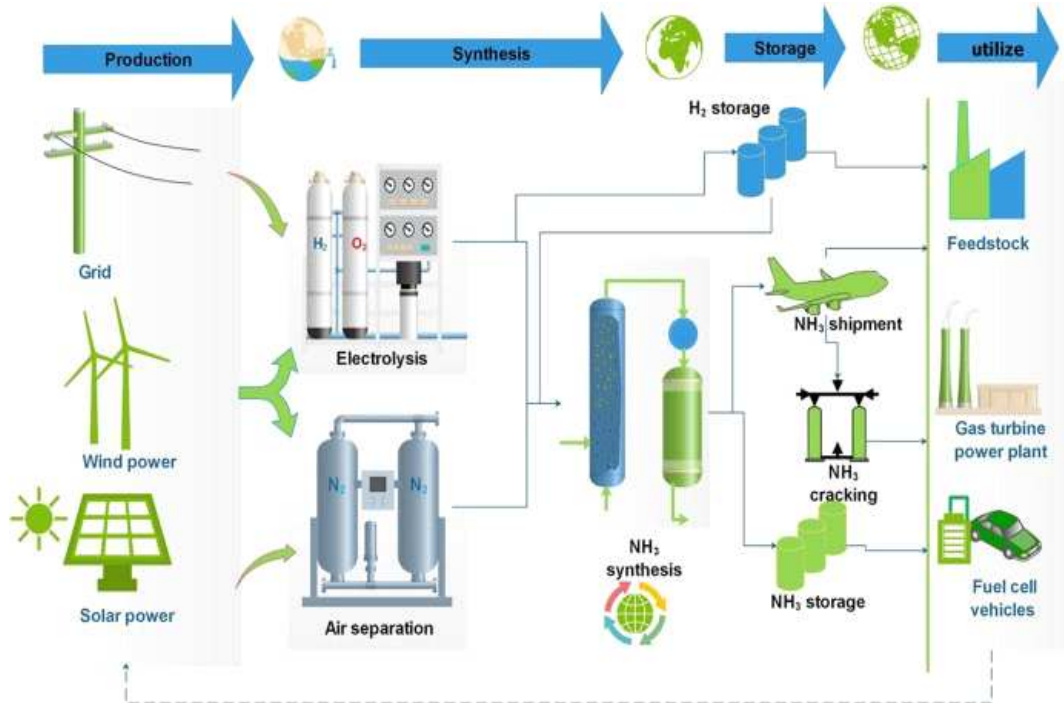
<그림 49> Harber-Bosch 암모니아 생산과정



탄소배출이 없는 그린 암모니아는 재생에너지를 통해 얻은 전기를 사용하여 물을 전기분해하여 수소를 생산하고, 공기에서 분리된 질소를 사용해서 전기적으로 합성하여 생산된다. 특히, 물과 공기를 이용하여 대기압에서 전기화학적 반응을 통해 암모니아를 생산하기에 미래에 재생에너지 가격이 낮아지면 경쟁력을 갖출 수 있으며, 재생에너지의 간헐성이라는 특징을 보완하여 잉여전력 손실을 최소화할 수 있기에 재생에너지의 경제성과 안정성 확보에 이바지할 수 있다. 그린 암모니아의 경제성을 살펴보면, 2025년부터는 소규모 암모니아 생산공장이 등장하여 그린 암모니아 톤당 \$650-850 범위의 비용이 발생할 것으로 예상되며, 2030년에는 톤당 \$450-600, 2040년에는 톤당 \$275-450 수준으로 비용이 낮아질 것으로 기대된다. 특히, 암모니아의 수요가 늘어날수록 생산비용도 낮아져 가격경쟁력이 높아질 것으로 예상된다.



&lt;그림 50&gt; 그린 암모니아 생산과 저장, 소비



자료 : Chehade & Dincer(2021), Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel, Fuel, Vol. 299

## 나. 암모니아의 수요

암모니아는 현재 농업, 반도체산업, LED산업 등 다양한 분야에서 산업용 원료로 광범위하게 사용되고 있는데, 예를 들어, 질소질 비료에 30% 이상 사용되고 있으며, 99.9995% 이상으로 정제된 고순도 암모니아는 갈륨비소(GaAs), 실리콘게르마늄(SiGe), 실리콘가이드(SiC) 등의 화합물반도체와 발광다이오드(LED), LCD 패널, 태양전지 생산에 사용된다. 또한, 암모니아는 분자량이 작아 열전도율이 높고 물 다음으로 증발 잠열이 커서 냉매로 널리 활용되고 있으며, 예로 자동차 배기가스의 NOx를 저감하는 요소수나 배기가스 저감장치(SCR)의 촉매로 사용되고 있다.

교통수단의 연료로써 암모니아 사용의 역사는 오래되었다. 19세기에 이미 암모니아 연료를 사용하는 버스가 운행되었으며, 1940년대에 벨기에 브뤼셀에서는 전쟁 중 석유 부족에 대한 대응으로 암모니아, 석탄 및 가스 하이브리드 엔진이 개발되었다.

암모니아 연료의 해운업에서의 가용성 확보의 관점에서 살펴보면 세계 120여 개의 항구가 이미 암모니아 관련 제품의 수출입 처리를 하고 있으며, 자체 저장시설을 갖춘 항구도 있다.

해운과 항공업에서는 기존의 화석연료를 암모니아나 합성탄화수소계 연료로 전환하는 것 외에 더 나은 대안이 아직 없다. 특히, 장기적 관점에서 탄소 가격의 상승과 환경규제를 강화하는 정책 변화에 따라 연료 선택이 제한된다. 암모니아와 합성탄화수소계 연료를 생산하는 프로젝트 중 현재 진행 중인 것으로는 2020년 Air Products, ACWA Power, 그리고 사우디아라비아의 신도시계획인 NEOM이 전기분해 수소로 암모니아를 생산하는 프로젝트에 USD 5 billion을 투자하는 협정을 맺었다. 유럽의 Norsk-e Fuel Project는 2023년에 수전해 수소에서 연간 10 million liters 규모의 탄화수소계 연료를 생산할 수 있는 시설의 세계최초 상업적 가동을 목표로 하고 있다. 현 수준에서 수전해 수소로부터의 암모니아 생산은 대략 50%의 에너지 효율성을 갖고, 합성탄화수소계 연료의 생산은 대략 40~45%의 에너지 효율성을 보인다.

## 〈참고문헌〉

### [인용문헌]

- 경남연구원. 2019. 경상남도 고용위기 제조업 산업생태계 연구: 자동차산업·조선업을 중심으로
- 대한민국 정부. 2019. 제4차 에너지기술개발계획(안)(2019-2028)
- 대한민국 정부. 2020. 「2050 탄소중립」 추진전략
- 대한민국 정부. 2020. 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략-제1차 친환경선박 개발·보급 기본계획('21~'30)
- 도현재·이소영. 2020. 국제해사기구의 환경규제 강화에 따른 병커링 산업 대응 전략 연구. 에너지경제연구원
- 부산연구원. 2019. 부산시 수소산업 육성방안 - 수소선박을 중심으로
- 산업통상자원부. 2021.7. 조선업계, 2050 탄소중립 실현 핵심기술 개발 본격 추진
- 울산연구원. 2019. 수소연료전지산업 기업실태와 육성방안 연구
- 이제명·김정현·김슬기·김태욱·김명성. 2019. 수소연료전지선박 개요 및 기술개발 동향 소개. 대한조선학회지. 56(1). pp. 3-9
- 장정인·정수빈·박동욱. 2020. 해양수산업의 지역 간 연관구조 분석. 한국해양수산개발원
- 조성철·장요한·장은교·김석윤. 2020. 지역산업 클러스터의 경쟁력 진단과 발전방안 연구. 국토연구원
- 중소벤처기업진흥공단. 2019. KOSME 산업분석 리포트 - 조선산업
- 최은철·이주석. 2019. 수소 선박 개발의 경제적 파급효과. 한국자료분석학회지. 21(6). pp. 2995-3006
- 한국산업기술진흥원. 2020. KIAT Europe 기술동향브리프-노르웨이 수소 추진 선박 기술개발 동향
- 한국산업기술평가관리원. 2019. KEIT PD Issue Report 선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향. Vol. 19-12. pp. 27-40
- 한국산업은행. 2019. 이슈브리프-수소선박 도입 필요성과 개발 현황 점검
- 한국선급. 2021. 암모니아 연료추진선박 보고서
- 한국수출입은행 해외경제연구소. 2021. 해상환경규제 효과에 의한 신조선 발주 전망
- 한국수출입은행 해외경제연구소. 2021. 해운·조선업 2020년 동향 및 2021년 전망
- 한국은행 포항본부. 2019. 포항 수소산업 육성 방안
- 한국해양교통안전공단 신성장센터. 2021. 탈탄소 선박 추진전략 보고
- 한국해양수산개발원. 2020. 해양수산업의 지역 간 연관구조 분석
- 해양수산부. 2019. 수소선박 안전기준개발사업 기획연구 보고서
- 환경부. 2020. 2019년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2017) 보고서
- EIA. Annual Energy Outlook 2021
- EIA. International Energy Outlook 2019
- IEA. Energy Technology Perspectives 2020
- IEA. Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021