

친환경 수소연료선박 R&D 플랫폼 구축 사업

이제명
부산대학교 조선해양공학과

1. 서 론

유엔 산하의 국제해사기구(IMO)는 1997년부터 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx) 배출량 저감을 위한 국제적 논의를 시작하여, 2016년부터 NOx 80% 감축 의무화, 그리고 2020년부터 SOx 기준 3.5%에서 0.5%로 강제화되는 규제를 공표하였고, 이로 인해 스크러버(Scrubber), SCR(Selective Catalytic Reduction), LNG 추진선 기술개발이 활발히 진행 중이며, 새로운 시장도 형성되었다.

2018년 4월, IMO는 SOx와 NOx 규제에 이어 온실가스 배출규제를 발표하였다. 72차 MEPC를 통해 선박에서 배출되는 CO₂ 배출량을 2030년까지 2008년 대비 40%, 2050년까지 70%로 감축하도록 노력하기로 하였으며, 2050년의 연간 온실가스 배출 총량을 2008년 대비 50% 감축하기로 한 것이다.

IMO 선박 배출가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 선박·해운 분야에 가용한 모든 혁신 기술이 요구된다. 특히 중장기적 감축 목표 이행은 기존 화석연료로는 달성하기 어려워 친환경 대체연료에 관한 연구와 함께 Zero-Emission 선박기술 개발과 관련된 기자재 엔지니어링 핵심/원천기술 개발이 필요

하다. 해외 유수 선급협회인 노르웨이-독일 선급(DNV-GL)은 IMO 2050 온실가스 규제에 대응하는 데 필요한 조치를 크게 4가지로 분류하여 감축에 대한 잠재력을 평가하였으며, 그 결과 이산화탄소 배출량을 줄이는 가장 획기적인 방안은 친환경 연료로 선박 연료를 바꾸는 것이라는 결론을 내었다 [1].

영국 선급(Lloyd's Register)에서는 CO₂를 감축하기 위한 연료 대체 방안으로 수소, 바이오 연료, 암모니아, 메탄올, 전기등을 선정하였으며, 각 연료에 대한 장단점을 비교하고, 연도별 가격 변화에 대한 예측을 수행한 바 있다[2]. 그 결과 수소에너지를 대기오염 물질, 미세먼지, 온실가스 저감뿐 아니라 비용적 측면에서도 우위에 있다고 평가하였다. 신재생에너지를 이용한 수전해 방식의 수소생산 또한 기술개발과 함께 상당한 경제성을 가질 수 있을 것으로 평가해 해운산업에 적용 시 경제성 확보가 가능할 것으로 전망된다.

선박의 연료로 수소를 사용하는 것은 기존 선박추진 방법 체계에 있어 완전히 새로운 개념이다. 수소를 이용해 구동력을 얻는 방법은 일반적으로 두 가지가 제안되고 있는데 하나는 연료전지를 이용해 전력을 발생시키는 것이고 또 다른 하나는 내연기관을 이용해 구동

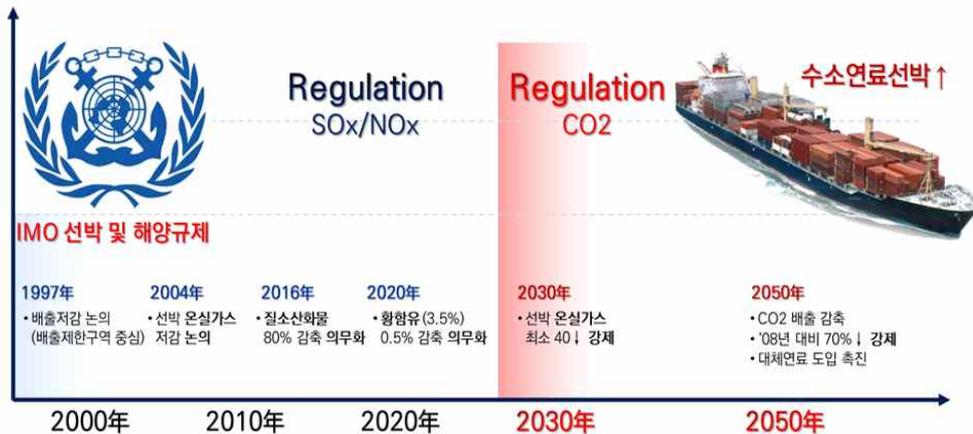


그림 1. 국제해사기구 선박 대기오염물질 규제 현황 및 계획.

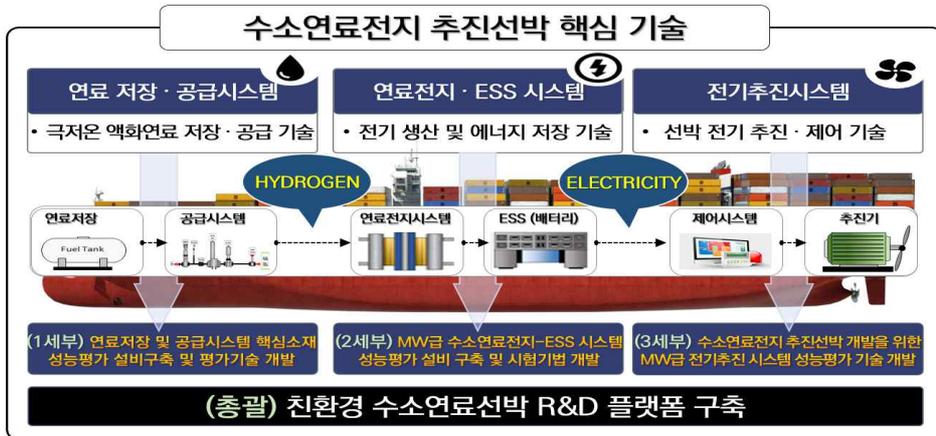


그림 2. 수소연료전지 추진선박 개요 및 본 사업 구성.

력을 얻는 것이다. 연료전지 시스템은 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기와 열에너지를 생산하고 물을 배출하는 친환경 발전장치이다. 기존 화석연료 발전기와 달리 연료의 연소를 통한 에너지변환과정을 거치지 않고, 바로 전기를 생산하여 손실이 적고, 이로 인해 발전효율이 높다는 매우 큰 장점이 있다[3]. 이러한 이유로 수소를 연료로 사용하는 경우 대부분 연료전지 시스템을 채택한다.

해외 기술선진국에서 소형 보트와 페리를 대상으로 수소연료전지 추진선박에 관한 실증 연구를 수행한 사례는 존재하지만, 아직 액화 수소를 선박의 연료로 적용한 바 없다. 다시 말해 전 세계적으로 국제 항해가 가능한 선박이 건조되지 못했다는 것이다[4]. 이러한 상황을 역으로 생각해 볼 때 수소연료전지 추진선박 핵심기술 확보를 통해 글로벌 기술시장 선점이 가능하다는 이야기다[5].

과거 우리나라는 LNG 운반선에 대한 핵심 기술 미보유로 LNG 운반선 1척당 약 100억 원의 기술료를 프랑스 GTT社에 지불한 이력이 있으며, 지금까지의 기술로열티 총액은 수조원에 이른다. 이러한 경험을 되풀이하지 않고 국내 기자재산업의 기술혁신을 통한 신산업 창출을 위해서는 수소연료전지 추진선박 개발에 필요한 핵심기술 개발이 시급한 실정이다. 다행히 산업통상자원부와 부산시의 지원으로 지난해 6월부터 수소연료전지 추진선박 개발에 필요한 핵심설비 구축사업인 ‘친환경 수소연료전지 추진선박 R&D 플랫폼 구축사업’을 진행하고 있다. 본 고에서는 수소연료전지 추진선박과 현재 수행 중인 사업을 간단히 소개하고자 한다.

2. 수소연료전지 추진선박 개요

본 사업에서의 수소연료전지 추진선박은 수소를 연료전지에 공급하여 전기를 생산하고, 생산되는 전기로 추진 모터를 구동해 추진되는 선박을 말한다. 수소를 선박 연료로 사용하므로 선박에서 배출되는 각종 대기오염물질로부터 자유로운 추진방식이라고 할 수 있으며, 현재는 기술 태동기인 상태로 선박용 수소연료전지(Fuel Cell), 에너지 저장장치(Energy Storage System, ESS), 초저온 액화가스 저장 및 공급기술 등의 요소 기술들이 일부 개발되었거나 현재 개발 중이다.

수소연료전지 추진선박의 핵심기술은 크게 수소연료 저장·공급시스템, 수소연료전지-ESS 시스템, 전기추진시스템으로 분류되며, 각 기술의 개발을 위한 성능평가 설비 구축 및 평가·시험 기술개발은 본 사업 3개의 세부과제에서 각각 진행된다.

3. (1세부) 수소연료전지 추진 선박용 연료저장 및 공급시스템 기술

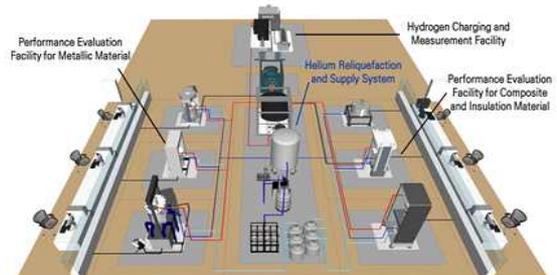


그림 3. (1세부) 수소연료전지 추진 선박용 연료저장 및 공급 통합시험설비.

선박용 수소연료 저장·공급시스템은 연료 저장 탱크와 연료공급시스템으로 분류할 수 있고, 연료저장 탱크는 다시 고압 수소탱크와 액화 수소탱크로 분류된다. 고압 수소탱크는 상온 조건에서 기체수소를 30MPa~70MPa 범위에서 가압하여 최대 42kg/m³ 밀도로 저장(일반 대기 및 압력 조건에서 0.09kg/m³) 하는 방식으로 연료의 소모가 상대적으로 적은 소형선박에 적절한 방식이다. 고압 수소탱크는 저장 용기 내·외벽 구조설계, 보강재 및 저장 용기 지지구조 설계, 용접부 구조 강도 확보, 복합재료(CFRP, GFRP, Graphene) 라이너 개발 등의 기술개발이 필요하다.

액화 수소탱크는 0.5~1MPa 압력 조건에서 수소를 영하 253도 이하로 액화시켜 71kg/m³의 밀도로 저장하는 방식으로 상대적으로 연료 소모가 큰 중대형 선박에 적절한 방식이다. 액화 수소탱크의 경우 영하 253도 이하의 초저온 및 수소취화 환경에서 안전성을 충분히 확보할 수 있는 강재/복합소재의 활용기술 및 안전성 평가기술이 핵심이다.

연료공급 시스템은 수소를 연료전지에 공급하기 위한 장치로 수소 공급장치, 열교환기, 수소 기화기 등으로 구성되어 있다. 연료전지가 가동될 수 있도록 요구되는 온도와 압력으로 일정하게 수소를 공급해 주는 것이 필요하며, 액화수소를 연료로 사용할 경우 기화기 등의 기자재 안전성 평가가 필수적이다.

본 세부과제에서는 액화수소환경 저장·공급용 강재·단열·복합재 통합시험설비, 수소취화 방지설계 검증용 첨단 계측설비를 구축하고 있다. 구축되는 시험설비를 이용하여 영하 253도 액화수소 환경에서의 적용 소재의 성능평가, 액화수소 저장구조 및 적용 소재에 대한 초저온 환경 단열 성능평가, 수소취화 방지 및 저감 설계에 따른 수소 장입량 평가 등의 기초연구를 수행하게 된다.

4. (2세부) 수소연료전지 추진선박용 수소연료전지-ESS 시스템 기술

수소연료전지 추진 선박용 수소연료전지-ESS는 크게 수소연료전지 시스템과 에너지 저장장치로 구성되어 있다. 연료전지 시스템은 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기와 열에너지를 생산하는 고효율·친환경 발전 장치이며, 기존 발전기와 달리 연료의 연소를

통한 에너지변환과정을 거치지 않고, 바로 전기를 생산하기 때문에 친환경적이며 에너지 손실이 적어 발전효율이 높다는 장점이 있다.

연료전지는 작동온도 및 사용 용도에 따라 PEMFC(고분자전해질형), MCFC(용융탄산염), SOFC(고체산화물)로 구분되며, 해상환경 및 기타요인에 의해 변동성이 달라지므로 중소형 선박에는 PEMFC, 대형 선박에는 MCFC, SOFC를 적용하는 연구가 다수 수행되고 있다. 수소연료전지추진 선박의 개발 및 성능 최적화를 위해서는 기술개발 환경 조성을 위한 연료전지 시스템 성능평가 수행이 필요하며, 이를 위해 연료전지 시스템의 핵심설비인 MEA와 Stack의 전기화학 성능 및 안정성 평가의 수행을 위한 시험설비 구축 필요하다.

본 세부과제에서는 MW급 병렬 연료전지 시스템 성능평가, MBOP 성능평가, EBOP 성능평가, ESS 성능평가를 위한 시험설비를 구축하고 있다. 구축되는 시험설비를 활용하여 선박 운항환경을 고려한 stack, 수소 및 공기공급 시스템, 배출가스 및 가스 누출 제어시스템, EBOP 전력변환시스템 성능평가 등의 기초연구를 수행하게 된다.

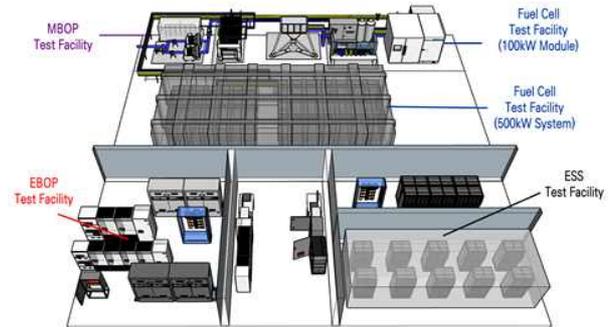


그림 4. (2세부) 연료전지-ESS 시스템 성능평가 시험설비 구성도.

5. (3세부) 수소연료전지 추진선박용 전기추진시스템 기술

수소연료전지 추진선박 개발을 위한 전기추진시스템은 크게 전기추진시스템과 추진기를 포함한 동력장치로 구성되어 있다. 일반적으로 발전기, 전력변환기, 추진 전동기, 에너지 저장장치, 배전반 및 에너지 관리시스템 등으로 구성되며, 기존 엔진 구동에 의한 추진방식과는 달리 발전기 역할을 수행하는 연료전지에서 생산된 전기로 추진 모터를 구동시켜 프로펠러를 움직이게 하는 기술이다. 선박에

서 전기의 역할을 강화함으로써 선박 공간 활용도를 높이고, 진동·소음을 감소시키며, 배기가스를 배출하지 않아 친환경 효과를 기대할 수 있다. 하지만 국내 전기추진 기술은 기술 선도국과 비교하면 경쟁력이 낮다는 평가를 받고 있으므로, 국내외 환경규제에 대한 대응과 최신 기술 관련 시장 활성화를 위해 전기추진시스템 연구를 위한 인프라 구축이 절실하다.

본 세부과제에서는 MW급 부하시험설비, HILS 기반 통합 시뮬레이션설비 등의 시험설비를 구축하고 있다. 구축되는 시험설비를 활용하여 수소연료전지-ESS 시스템 연동 전기추진시스템 성능평가, 선박 부하 환경에서의 추진 전동기 부하시험, 전동기 전압·전류·회전수·출력 측정 및 효율 산정, 네트워크 전원장치 및 배전계통 전기설비 성능평가 등의 기초연구를 수행하게 된다.

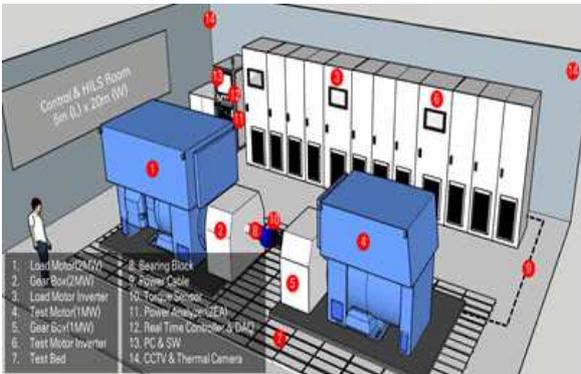


그림 5. (3세부) 수소연료전지 추진, 제어 성능시험설비 구성도.

6. 결 론

산업통상자원부와 부산광역시 지원의 ‘친환경 수소연료선박 R&D 플랫폼 구축사업’은 수소연료전지 추진선박 핵심기자재 개발에 필요한 1)수소연료저장 및 공급시스템, 2)수소연료전지-ESS시스템, 3)전기추진시스템 개발을 위한 필수 설비구축 및 평가기술개발에 관한 사업으로, 해당 설비들은 부산항 해양산업클러스터 수소선박기술센터에 구축될 예정이다.

본 사업에서 수행되는 시험설비를 통해 20K의 액화수소 환경에서 기계적 성능평가 및 단열성능평가가 가능해질 뿐만 아니라, 연료전지 및 전기추진 기자재에 대한

해양환경 모사 성능평가가 가능해지는 국내 및 세계적으로도 유례없는 수준의 초저온 통합성능평가 설비가 구축되는 것이다. 연료전지에서 발생 되는 전력을 바로 전기추진시스템에서 사용하기 때문에 추진 부하변동에 따른 전력 수요 Feedback이 연료공급체계부터 반영되어 실선탑재와 유사한 수준의 수소연료 추진시스템 성능평가 Test bed라고 볼 수 있다. 이를 통해 국내 기자재산업이 수소연료선박이라는 새로운 영역에 도전해 가치 창출을 할 기회를 제공할 뿐 아니라, 국내 조선산업이 지속적으로 세계시장을 선도하는데 일조하는 역할을 충분히 수행할 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] DNV-GL “Maritime Forecast to 2050”, (2018)
- [2] Lloyd’s Register “Zero-Emission Vessels: Transition Pathways”, (2019)
- [3] Ryan O’Hayre et al., “Fuel Cell Fundamentals”, 3rd Edition, John Wiley & Sons
- [4] DNV-GL, “Study on the Use of Fuel Cells in Shipping”, 2018
- [5] “FLAGSHIPS project for hydrogen vessels in France and Norway”, Fuel Cells Bulletin, 2019(6), pp.6

저자이력



이제명 (李帝明)

1987-1994년 부산대학교 조선공학과 공학사, 1994-1996년 조선공학과 공학석사, 1996-1999년 일본 동경대학 선박해양공학과 공학박사, 1999-2000년, 일본 동경대학 선박해양공학과 박사후연구원, 2001-2002년 삼성중공업 책임연구원, 2002년-현재 부산대학교 조선해양공학과 교수, 2019년-현재 부산대학교 수소선박기술센터 센터장