

선박 대체연료 기술 개발 동향 조사

Recent trends on the development of alternative fuels for shipping
: Methanol, Ammonia, H₂O

황진희 · 이호준 · 안영균 · 류희영



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	황진희, 이호춘, 안영균, 류희영			
내부연구진	연구책임자	황진희	한국해양수산개발원	해운연구본부 부연구위원
	공동연구원	이호춘	한국해양수산개발원	해운연구본부 부연구위원
	공동연구원	안영균	한국해양수산개발원	해운연구본부 전문연구원
	공동연구원	류희영	한국해양수산개발원	해운연구본부 연구원

연구기간	2022. 05. 13. ~ 2023. 02. 28.
------	-------------------------------

보고서 집필내역

연구책임자	황진희 제1장
내부연구진	이호춘 제2장 제5장 2절
	안영균 제4장 제5장 1절
	류희영 제3장

목차

01	서론_1	
	제1절 연구의 배경 및 필요성	1
	제2절 연구 목적	2
	제3절 연구 방법	3
02	메탄올 선택_5	
	제1절 메탄올 특성	5
	제2절 메탄올 추진선 건조 동향	8
	제3절 메탄올 벙커링 구축 동향	11
	제4절 메탄올 선택 기술 동향	15
03	암모니아 선택_19	
	제1절 암모니아 특성	19
	제2절 암모니아 추진선 건조 동향	23
	제3절 암모니아 벙커링 구축 동향	27
	제4절 암모니아 선택 기술 동향	35
04	수소 선택_47	
	제1절 수소 특성	47
	제2절 수소 추진선 건조 동향	49
	제3절 수소 벙커링 구축 동향	55
	제4절 수소 선택 기술 동향	58

05	결론 및 정책제언 _63	
	제1절 주요 결론	63
	제2절 시사점	68

참고문헌 _69

부록 _73

표 목차

〈표 2-1〉 메탄올 연료 특성	6
〈표 2-2〉 메탄올 추진선 발주 현황(2023년 2월 기준)	10
〈표 2-3〉 전세계 메탄올 수급 현황(2017~2022)	12
〈표 2-4〉 머스크와 메탄올 공급 계약을 체결한 업체 현황(2022년 말 기준)	13
〈표 3-1〉 암모니아의 연료 특성	20
〈표 3-2〉 암모니아 추진선 관련 동향	25
〈표 3-3〉 암모니아 추진선 발주 현황	26
〈표 3-4〉 세계 암모니아 수출 무역향과 무역 규모	28
〈표 3-5〉 암모니아 벙커링 및 터미널 프로젝트 진행 현황	29
〈표 3-6〉 부산암모니아 친환경에너지 특구 지정 사업 내용	30
〈표 4-1〉 수소의 물리적 특성	48
〈표 4-2〉 수소연료전지시스템의 종류	51
〈표 4-3〉 우리나라 수소 추진선 건조 동향	55
〈표 4-4〉 우리나라 수소 벙커링 구축 동향	58
〈표 4-5〉 수소선박 단기 핵심기술	59
〈표 4-6〉 수소선박 중기 핵심기술	61
〈표 4-7〉 수소선박 장기 핵심기술	62
〈표 5-1〉 주요 선박 대체연료별 특성	64
〈표 5-2〉 주요 선박 대체연료별 건조동향	65
〈표 5-3〉 주요 선박 대체연료별 벙커링 구축 동향	66
〈표 5-4〉 주요 선박 대체연료별 선박기술 동향	67

그림 목차

〈그림 2-1〉 메탄올의 분류	7
〈그림 2-2〉 전세계 메탄올 수급 현황(2017~2022)	11
〈그림 3-1〉 암모니아의 분류	21
〈그림 3-2〉 그린 암모니아 생산 및 활용 개념도	22
〈그림 3-3〉 암모니아 벨류체인	23
〈그림 3-4〉 친환경 선박용 암모니아 연료 생산 과정	24
〈그림 3-5〉 국가별 암모니아 벙커링 설비 개발 현황 및 계획	31
〈그림 3-6〉 해상부문 연료별 소비 비중	33
〈그림 3-7〉 LNG와 블루 및 그린 암모니아 연료 가격 예상(탄소세 적용)	34
〈그림 3-8〉 ME-LGIA 엔진연료공급시스템	38
〈그림 3-9〉 현대중공업그룹의 암모니아 엔진 개발 로드맵	40
〈그림 3-10〉 MAN ES - 2행정 암모니아 엔진 개발 로드맵	43
〈그림 3-11〉 WinGD사의 친환경 선박용 엔진 연료 개발 로드맵	44
〈그림 4-1〉 노르웨이 Topeka 조감도	53

01

서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

국제해사기구(IMO)는 2018년 4월에 온실가스 초기전략(GHG Initial Strategy) 채택을 통해서 국제해운 온실가스 총배출량을 '08년 대비 '50년까지 50% 이상 감축¹⁾하는 목표를 설정하였다.

이후 IMO는 실질적인 온실가스 감축을 위한 조치로 에너지 효율 개선에 초점을 맞춘 단기조치를 계획대로 추진해 왔으며 2021년부터는 시장기반 조치를 포함하는 중장기조치를 도입하기 위해 준비하고 있다.

단기조치 가운데 기술적 조치는 EEDI와 EEXI로 구분되며, 운항적 조치인 CII는 감축 목표 달성도에 따라 선박운항효율등급(A~E)을 부여하는 것이며²⁾, 중장기조치는 단기조치보다 많은 온실가스 감축을 위한 강력한 규제로 기술적 조치와 시장기반 조치(경제적 조치)를 동시에 고려하고 있다³⁾.

1) 탄소집약도(Carbon Intensity)는 '30년 40%, '50년 70% 이상 감축함

2) EEDI(신조선에너지효율지수) '19.05. 완료, EEXI(현존선에너지효율지수) 및 CII(선박탄소집약도지수) '23.01. 시행

3) 중장기조치의 기술적 조치로는 GFS(연료표준제도), 시장기반 조치로는 온실가스 분담금제도(GHG Levy)와 배출권거래제도(ECTS) 등이 있음

이처럼 해운산업에서 탄소 배출을 획기적으로 감소시켜야 하는 탈탄소 요구는 지속적으로 증가하고 있으며, 이러한 도전에 대한 궁극적인 해결 방안은 탄소를 발생시키지 않는 선박 연료로의 대전환 밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 선박 연료의 대전환 시기를 맞이하여 국내 해운산업의 탈탄소 실현에 기여할 수 있는 가장 유력한 선박 대체연료⁴⁾인 메탄올, 암모니아, 수소에 대하여 연료별 특성을 포함해서 선박 건조 및 병커링 동향과 기술개발 동향을 살펴보고자 한다. 또한 이를 통해 국적선사들의 미래 선박 투자 결정에 조금이나마 보탬이 되고자 한다.

제2절 연구 목적

본 연구의 목적은 미래 선박 대체연료로 가장 주목을 받고 메탄올, 암모니아, 수소를 대상으로 각 연료별 수급 동향과 선박 엔진관련 최신 기술개발 동향을 조사한 후 우리나라가 전 세계 선박 대체연료 기술시장을 선점할 수 있는 전략 마련에 활용하는 것을 주된 목적으로 한다.

즉 본 연구의 일차적인 목적은 메탄올, 암모니아, 수소별 최신 연료 개발 동향과 기술개발 동향 파악이며, 보다 궁극적인 목적은 메탄올, 암모니아, 수소 선박의 세계 기술시장 선점을 위한 전략 마련에 기여하는 것이다.

4) 본 연구에서 선박 대체연료는 탄소 발생을 최소화하거나 전혀 발생시키지 않는 LNG, LPG, 메탄올(CH₃OH) 등 저탄소 연료와 암모니아(NH₃), 수소(LH₂) 등 무탄소 연료를 모두 포함하는 의미이며 직접적인 연구 대상으로는 메탄올, 암모니아, 수소 세 가지를 의미함

제3절 연구 방법

본 연구는 국내·외 메탄올선박, 암모니아선박, 수소선박 관련 문헌 분석 자료를 기본으로 국제해사기구(IMO), 노르웨이 선급(DNV), 한국선급(KR) 등의 최신 기술동향과 덴마크 선사인 머스크(Maersk), 프라승 선사인 CMA-CGM, 스위스 선사인 MSC, 국적선사인 HMM 등 글로벌 선사들의 개별 홈페이지 자료와 인터넷 뉴스와 기사 등의 자료를 활용하였다.

또한 선박 대체연료의 최신 기술 동향의 파악을 위해서 관련 분야 전문가들이 참석하는 자문회의와 특별 강의 등을 활용하였다. 이러한 문헌연구와 전문가 자문 및 특강 등을 통해서 해운산업의 탄소중립 실현을 위한 선박 대체연료의 국내·외 최신 트렌드와 기술개발 동향을 파악하였다.

02

메탄올 선박

제1절 메탄올의 특성

1. 연료로서의 특성

메탄올은 메틸알코올(methyl alcohol)로 불리며 1661년에 보일(Robert Boyle)이 회양목 증류 과정에서 최초로 분리해 냈고 나무로부터 많이 얻어진다고 하여 목정(wood spirit)이라고도 한다.⁵⁾

메탄올의 물리적 특징은 증기가 공기와 잘 혼합되어 폭발성 있는 혼합체를 쉽게 형성하며, 화학적 특징은 산화제와 격렬하게 반응하고 반응 시 화재와 폭발의 위험이 존재한다.⁶⁾

무색인 메탄올과 에탄올은 맛과 냄새에서 매우 유사한 성질을 나타내는 데 에탄올이 주류의 원료로 사용되는 반면 메탄올은 소량이라도 섭취할 경우 실명을 초래할 수 있는 매우 위험한 알코올이다.⁷⁾

5) 네이버 화학백과(검색일:2022.11.23.),

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5662920&cid=62802&categoryId=62802>

6) 산업안전공단, 「메탄올 취급근로자」, p.16.

7) 네이버 화학백과(검색일:2022.11.23.),

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5662920&cid=62802&categoryId=62802>

〈표 2-1〉 메탄올 연료 특성

구분	특성
분자식/화학식	CH ₄ O/CH ₃ OH
분자량	32.04
끓는점/어는점	64.7°C/-97.8°C
증기압(20°C)	12.8kPa
증기밀도(15°C, 공기 1기압)	1.105
용해도	완전 용해 가능
폭발상한(UEL)/폭발하한(LEL)	36%(기증농도)/6%(기증농도)
자동 점화 온도	464°C

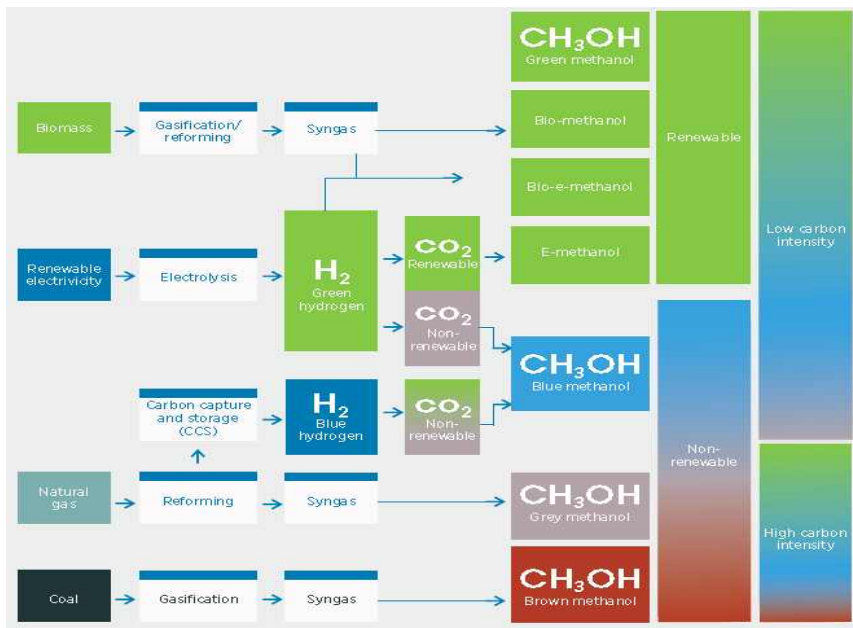
자료 : 산업안전공단, 「메탄올 취급근로자」, p.17.

2. 그린 메탄올의 정의

메탄올은 공급 원료와 제조 방식에 따라 브라운·그레이·블루·그린 메탄올로 구분할 수 있다. 석탄을 원료로 하는 경우는 브라운, 천연가스를 원료로 하는 경우는 그레이, 그레이 메탄올 생산과정에서 이산화탄소를 포집하면 블루, 마지막으로 재생에너지와 바이오매스를 원료로 생산되는 e-메탄올과 bio-메탄올을 그린 메탄올이라고 한다.

다양한 메탄올 가운데 선박연료의 탄소 중립 실현을 위해서는 그린 메탄올의 공급과 사용이 매우 중요하다.

〈그림 2-1〉 메탄올의 분류



자료 : IRENA (2021)⁸⁾

8) IRENA (2021), A pathway to decarbonise the shipping sector by 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. p. 58.

제2절 메탄올 추진선 건조 동향

최근 몇 년 동안 글로벌 선사들이 메탄올을 선박연료로 고려하게 된 이유는 탄소 배출을 줄이기 위한 선박의 대체연료(alternative fuel) 식별 과정에서 기술적 요인과 경제성을 고려한 현실적인 선택의 결과이다.

메탄올은 분자 구조에 탄소, 수소, 산소가 모두 포함되어 있어서 무탄소 연료가 될 수 없지만, 생산 과정에서 신재생 에너지를 이용해서 생산된 그린 수소를 이용하는 e-메탄올과 바이오매스(biomass)를 이용해서 생산되는 bio-메탄올의 경우 연소과정에서 발생하는 탄소 배출을 상쇄시켜 주기 때문에 무탄소에 가까운 저탄소 연료로 간주된다.

따라서 선박 연료로 고려되는 메탄올은 석탄, 천연가스 등 화석연료를 원료로 생산되는 일반 메탄올이 아닌 신재생 에너지를 사용하는 e-메탄올과 바이오매스를 이용한 bio-메탄올이 주요 대상이 된다.⁹⁾

그린 메탄올(e-메탄올, bio-메탄올)의 가장 큰 문제점은 현재 전 세계적으로 공급량이 제한적이며 선박 연료로 사용하기에는 공급량이 매우 부족하며 단기적으로 공급량 증가에 한계가 있다는 점이다.

하지만 현재 기준 제한된 공급량을 가진 그린 메탄올의 문제점에도 불구하고 머스크(Maersk)를 선두로 주요 컨테이너 선사들은 최근 2년 동안 메탄올 추진선 발주에 집중하고 있다.

메탄올 추진선은 LNG 추진선 대비 열량당 효율이 낮은 관계로 LNG 탱크 대비 2.75배 큰 탱크 용량이 필요하지만 LNG 탱크와 같은 고온·고압이 필요 없기 때문에 카펙스(CAPEX) 측면에서 LNG 추진선보다 나쁘지 않은

9) 그린 메탄올이 아닌 일반 메탄올의 경우 기존 선박 연료유 대비 최대 25% 온실가스(GHG) 감축 효과가 있다.

것으로 산정되며 오펙스(OPEX)는 그린 메탄올을 사용하는 관계로 LNG 추진선보다 높을 것으로 전망된다.¹⁰⁾

머스크는 글로벌 선사들 가운데 가장 먼저 메탄올 추진선 발주에 나섰다. 2021년 7월 현대미포조선에 2,100TEU 메탄올 추진선(컨테이너선) 발주를 시작으로, 2021년 8월 한국조선해양(현대중공업)에 16,000TEU 컨테이너선 8척, 2022년 1월 4척(16,000TEU), 2022년 10월 6척(17,000TEU) 등 총 19척의 메탄올 추진선을 발주한 상태이다.

머스크 외에도 프랑스 선사인 CMA-CGM과 중국 선사인 COSCO와 같은 계열사인 OOCL도 메탄올 추진선 발주에 동참하였는데, CMA-CGM은 2022년 6월 중국 대련조선소(DSIC)에 15,000TEU 메탄올 추진선 6척을 발주했으며, COSCO와 OOCL은 2022년 10월 2만 4,000TEU 메탄올 추진선 각각 5척과 7척을 중국 DACKS와 NACKS에 발주하였다.

HMM도 2023년 2월에 9,000TEU 메탄올 추진선 9척을 한국조선해양(현대삼호중공업, 7척)과 HJ중공업에 발주하였다.¹¹⁾ 이로써 우리나라도 선박 연료의 탄소 중립 실현을 위한 글로벌 선사들과의 경쟁에 본격적으로 동참하게 되었다.

10) 15,000TEU 컨테이너 기준으로 카펙스(CAPEX, 미래투자비용)를 따져봤을 때 LNG DF가 100의 가격을 가지고 있다고 하면 메탄올 DF는 약 93 정도의 가격을 가질 수 있을 것으로 전망함.(정기용 현대중공업 책임엔지니어, '메탄올 추진 선박의 현황과 전망', 2022 스마트 그린 에너지 조선해양 컨퍼런스, 12월 5일~6일, 창원컨벤션센터)

11) 파이낸셜 뉴스, 2023년 2월 14일,
<https://www.fnnews.com/news/202302141856181773>(검색일:2022.02.18.)

〈표 2-2〉 메탄올 추진선 발주 현황(2023년 2월 기준)

선사명	건조계약일	사이즈(TEU)	척수(척)	인도예정일	조선소
Maersk Line	2021. 7.	2,100	1	2023	현대미포
	2021. 8.	16,000	8	2024	현대중공업
	2022. 1.	16,000	4	2024	현대중공업
	2022. 10.	17,000	6	2025	현대중공업
CMA-CGM	2022. 6	15,000	6	2025	DSIC
COSCO	2022. 10.	24,000	5	2026	DACKS
OOCL	2022. 10.	24,000	7	2026	NACKS
HMM	2023. 2.	9,000	9	2025~26	현대삼호/HJ중공업

자료 : 선사 홈페이지 및 기사 등을 참고해서 KMI 작성

제3절 메탄올 병커링 구축 동향

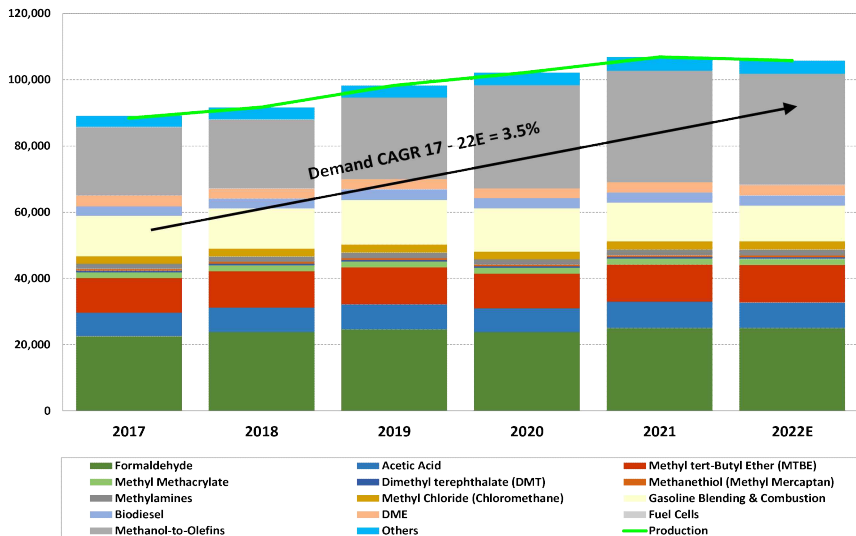
1. 메탄올 수급 동향

2022년 기준 전 세계 메탄올 생산량은 약 1억 581만 톤이며 수요의 대부분은 Methyl tert-Butyl Ether(MTBE) 생산, MTO(Methanol-to-Olefins) 공정, 가솔린 블렌딩 등에 사용되고 있다.

하지만 대부분의 메탄올이 석탄과 천연가스를 이용해서 생산된 브라운 메탄올 또는 그레이 메탄올이며, 저탄소 연료로 간주되는 그린 메탄올은 현재 전 세계 생산량이 전체 생산량의 1% 이하일 정도로 극히 미미한 수준이다.

〈그림 2-2〉 전세계 메탄올 수급 현황(2017~2022)

단위 : 천 톤(M/T)



자료 : Methanol Market Services Asia (MMSA)

〈표 2-3〉 전세계 메탄올 수급 현황(2017~2022)

단위 : 천 톤(M/T)

수요 및 공급	2019	2020	2021	2022E	17-22 (CAGR)
공급(Supply)					
Total Capacity	148,669	155,227	162,056	166,802	4.4
Production	98,281	102,253	106,886	105,811	3.7
Imports	29,911	30,510	30,730	31,949	3.7
공급 합계(Total Supply)	98,281	102,253	106,886	105,811	3.7
수요(Demand)					
Formaldehyde	24,637	23,787	25,055	25,022	2.1
Acetic Acid	7,554	7,193	7,894	7,716	1.7
Methyl tert-Butyl Ether (MTBE)	11,156	10,446	11,201	11,305	1.5
Methyl Methacrylate	1,755	1,773	1,864	1,887	1.7
Dimethyl terephthalate (DMT)	472	477	469	466	-0.5
Methanethiol (Methyl Mercaptan)	533	505	532	542	0.5
Methylamines	1,690	1,614	1,722	1,748	1.8
Methyl Chloride (Chloromethane)	2,437	2,272	2,456	2,517	2.3
Alternative Fuels					
Gasoline Blending & Combustion	13,422	13,125	11,677	10,753	-2.5
Biodiesel	3,291	3,048	3,036	3,103	1.8
DME	3,052	2,917	3,163	3,148	-0.9
Fuel Cells	12	13	14	19	17.1
Methanol-to-Olefins	24,571	31,202	33,641	33,581	10.2
Others	3,717	3,792	4,205	4,004	3.1
수요 합계(Total Demand)	98,300	102,162	106,930	105,811	3.5

자료 : Methanol Market Services Asia (MMSA)

2. 선박연료로서의 전망

머스크(Maersk)는 메탄올 추진선 발주와 병행해서 자사 선박에 대한 그린 메탄올의 원활한 공급을 위하여 e-메탄올/bio-메탄올 생산업체들과 공급 의향서(LOI)를 체결하는 파트너십을 구축한 결과 2025년까지 연간 93~103만톤 확보를 예상하고 있다.

머스크가 파트너십을 체결한 업체들을 지역별로 보면 중국, 북미, 남미 등으로 다양하게 분포하고 있는데 이는 미주항로와 유럽항로 운항에 필요한 주요 항만들에서의 병커링을 고려한 조치로 파악된다.

머스크는 선두 업체로서의 이점을 누리기 위해서 전 세계 그린 메탄올 생산업체들과의 공급 의향서 체결을 지속적으로 확대해 나가는 전략을 채택할 것으로 전망되고 있다.

〈표 2-4〉 머스크와 메탄올 공급 계약을 체결한 업체 현황(2022년 말 기준)

단위 : 톤/연간

업체명	연료종류	생산능력전망 (2024년)	생산능력전망 (2025년)	생산능력전망 (2025년 이후)	공급 지역
CIMC ENRIC(중)	bio-메탄올	50,000		200,000	중국
European Energy(덴)	e-메탄올		2~300,000		북미 남미
GTB(중)	bio-메탄올	50,000		300,000	중국
Orsted(덴)	e-메탄올		300,000		북미
Proman(스)	bio-메탄올 e-메탄올		100,000		북미
WasteFuel(미)	bio-메탄올	30,000			남미
Debo(중)	bio-메탄올	200,000			중국
Carbon Sink LLC.(미)	e-메탄올			100,000 (2027)	북미 (South Dakota)
합계		330,000	6~700,000	600,000	

자료 : 머스크 홈페이지 기사를 참고해서 KMI 정리

국적선사인 HMM은 2023년 2월에 9,000TEU급 메탄올 추진선 9척의 건조 계약을 발표하면서 메탄올 연료의 안정적 수급을 위해서 Proman, PTTEP, European Energy, 현대코퍼레이션 등 국내외 5개사와 메탄올 생산 및 공급에 대한 양해각서(MOU)를 체결했다는 사실을 함께 공표했다. 또한 이들 업체들과 글로벌 주요 항만에서의 메탄올 공급에 대한 타당성 조사와 친환경 메탄올 생산에 대한 협력을 공동으로 진행할 예정이다.¹²⁾

2021년부터 머스크가 메탄올 이중연료(D/F) 추진선을 시리즈로 발주한 것은 현재 시점 기준으로 그린 메탄올 연료가 탈탄소를 실현할 수 있는 최적의 선택이라는 현실적인 판단이 내려졌을 것으로 예상된다.

암모니아 연료의 독성 문제에 대한 처리 방안이 제시되고 기타 기술적인 문제가 해결되기 전까지 메탄올 추진선은 당분간 지속적으로 발주가 증가할 것으로 예상되며, 전 세계 그린 메탄올 공급망이 계속해서 확충되어 나간다면 다수의 글로벌 선사들이 메탄올 추진선 발주를 확대해 나갈 가능성이 매우 높다.

하지만 전 세계 e-메탄올과 bio-메탄올 공급량이 획기적으로 증가해서 가격 변동성이 안정적인 흐름을 유지하지 못할 경우 장래 선박 대체연료의 대세로 자리 매김 하는 것에는 분명한 한계가 있을 것으로 예상된다.

12) HMM 보도자료(2023. 2. 14.)

(https://www.hmm21.com/cms/company/korn/introduce/prcenter/news/1212162_7823.jsp)

제4절 메탄올 선박 기술 동향

메탄올은 지금도 기존 선박으로 널리 운송되는 원료이며 메탄올을 선박의 원료로 활용하는 경우에도 상온에서 액체 상태이기 때문에 LNG처럼 고압과 극저온을 견디는 탱크가 필요하지 않으며 일반 탱크를 조금만 개조하면 얼마든지 메탄올을 연료로 이용할 수 있다. 또한 연료가 바다에 유출되는 경우에도 해양 오염을 발생시키지 않는다.

하지만 벙커유에 비해 연료 효율이 상대적으로 낮은 관계로 연료 탱크의 사이즈가 2.2배~2.5배 이상 증가하게 되고 메탄올 추진선의 건조 단가 역시 일반 선박을 건조하는 경우보다 약 10%~15% 더 들어가게 된다.

1. 메탄올 연료 탱크

메탄올, 암모니아, LPG 연료는 물성이 비슷하여 저인화점(low flash point) 연료로 분류된다.¹³⁾ 또한 메탄올은 극저온 저장을 필요로 하지 않기 때문에 일반 탱커선과 유사한 설계와 배치가 가능하고 액체연료 요건을 적용할 수 있다. 다만, 인체에 유해한 독성이 있기 때문에 가스 배출을 차단하는 밀폐공간에 연료 장치를 설치해야 하고, 부식성을 고려하여 저장 탱크나 연료 수송관은 스테인레스강 등 부식에 강한 재료를 사용해야 한다.¹⁴⁾

13) 연료별 자연발화점을 보면 디젤(210℃), 메탄올(385℃), 수소(520℃), 암모니아(650℃)의 순으로 높음

14) 해양수산부 블로그, <https://blog.naver.com/koreamof/222402216956>(검색일:2022.02.18.)

2. 메탄올 연료공급시스템

메탄올 연료공급시스템은 메탄올 추진선의 엔진 특성에 맞추어 연료인 메탄올을 지정된 유량, 압력, 온도 및 여과 매개변수 내에서 안전하게 공급하도록 지원하는 장치를 말한다.

메탄올 연료의 특성에서 언급된 것처럼 메탄올은 기존 디젤유와 마찬가지로 상온에서 액체 상태를 유지하기 때문에 기본적으로 기존의 선박 연료 공급시스템을 크게 변경하지 않고 이용할 수 있다. 다만 메탄올 연료의 특성에 맞추어 유량, 압력, 온도 등을 선박에 탑재된 엔진에 맞추어 최적 연소가 가능한 조건을 만들어 주어야 한다. 또한 이 부분에서 연료공급시스템에 관한 전문적인 기술과 축적된 데이터를 기반으로 한 고도의 전문성이 요구된다.

3. 메탄올 엔진

1) 현대중공업

현대중공업은 초기에는 세계적인 엔진 업체인 독일의 만(MAN SE)으로부터 사용권을 받아 선박용 중형엔진을 생산해 왔다. 하지만 현대중공업은 엔진 사용료로 매년 막대한 로열티를 지불하는 문제점을 해결하기 위해서 1900년부터 독자 모델의 엔진을 개발하기 시작했고 이후 10여 년의 연구를 거쳐 독자적인 중형엔진 힘센(HiMSEN) 엔진 개발에 성공했다. 이후 지금까지 힘센 엔진은 우리나라를 대표하는 중형엔진으로 자리매김을 해오고 있다. 또한 2020년에는 세계 최대 에너지 기업인 아람코와 공동으로 사우디아라비아에 힘센엔진 생산 합작법인 SEMCO를 설립하면서 라이선스 사업까지 진출하고 있다.

현대중공업 엔진기계사업부는 2022년 9월 28일부터 30일 기간 동안 메탄올과 디젤 연료를 이중으로 사용하는 5천 400마력급 선박엔진용 메탄올 이중연료 힘센엔진(H32DF-LM)을 대상으로 한국선급(KR), 미국선급(ABS), 노르웨이선급(DNV) 등 7개 선급 입회하에 형식승인 심사(TAT: Type Approval Test)를 성공적으로 수행하였다. H32DF-LM 엔진은 특수 재질로 부식을 막고 메탄올 모드에서 디젤사이클 연소 및 전자제어식 연료 분사 방식인 커먼레일(common rail) 방식을 적용해 안정적인 고출력 운전이 가능하다.¹⁵⁾한편 첫 번째 메탄올 힘센엔진은 머스크(Maersk) 발주로 2023년 12월 현대미포조선에서 건조되는 2,100TEU급 컨테이너선에 공급될 예정이다.

15) 현대중공업 홈페이지(2022.10.18.), '친환경 메탄올 이중연료 힘센엔진(H32DF-LM) 개발'(검색일:2023.01.18.)

2) HSD엔진¹⁶⁾

국내에서 대형 선박용 디젤 엔진과 발전용 디젤 엔진을 전문으로 하는 엔진 전문회사이며 선박용 엔진 시장에서는 국내에서 현대중공업 다음으로 큰 규모를 차지하고 있는 업체이다.

HSD엔진은 2022년 9월에 스위스 선박 엔진 제조업체인 WinGD와 메탄올 추진선용 저속엔진 공동개발 프로젝트(JDP)를 발표하였다. WinGD는 메탄올 연소 및 연료 분사기술, 배기가스 후처리(EGR), 엔진 개념설계 등을 맡고 HSD엔진은 엔진 최적화 업무와 테스트를 위한 연료공급 장치 등을 지원하기로 했다. HSD엔진은 WinGD와의 공동개발 프로젝트(JDP)를 통해서 X92와 X82 규모¹⁷⁾의 대형엔진 개발에 우선 순위를 두어 초대형 컨테이너선용 엔진을 가장 먼저 최적화할 계획이다.¹⁸⁾

HSD엔진은 2023년 2월 17일에 한화임팩트와 주식매매계약 양해각서와 신주인수계약 양해각서를 체결하였다. 이번 계약이 마무리되면 한화임팩트는 HSD엔진의 총 33% 지분을 확보하게 되어 최대 주주가 된다. 한화그룹이 계열사인 한화임팩트를 통해서 HSD엔진을 인수하는 것은 대우조선해양 인수와 연계해서 자체 기술력으로 선박 건조부터 엔진 제조까지 전 공정에 걸친 제조 노하우를 확보하려는 차원으로 파악된다.¹⁹⁾

HSD엔진 인수 후 한화는 한화임팩트 산의 가스터빈 개조회사인 미국 PSM, 산업용 가스 압축 기술 보유 한화파워시스템과의 시너지를 극대화할 것으로 예상되며, 메탄올, 암모니아, 수소 등 대체연료를 사용하는 선박 엔진 개발에서 더 큰 영향력을 발휘할 것으로 기대된다.

16) HSD엔진은 사명을 2005년 3월에 두산엔진으로 변경했다가 2018년 6월에 원래 이름인 HSD엔진으로 다시 변경함. 위키피디아(<https://ko.wikipedia.org/wiki/HSD엔진>)

17) X92는 엔진출력 23~65MW, X82는 엔진출력 17~38MW

18) 한국해운신문(2022.09.07.), WinGD-HSD엔진, 메탄올 저속엔진 개발(검색일:2023.01.18.)

19) 조선일보(2023.02.17.), HSD엔진 인수하는 한화, 세 아들 승계 작업 차곡차곡(검색일:2023.01.18.)

03

암모니아 선박

제1절 암모니아의 특성

1. 연료로서의 특성

암모니아는 질소와 수소로 이루어진 화합물로, 연소 반응에서 이산화탄소가 발생하지 않아 무탄소 연료로 주목받고 있다.

암모니아는 대기압 기준으로 -33°C 에서 액화되며, 저온 유지 기술을 적용된 저압 탱크(low pressure tanker)를 사용할 수 있기 때문에 탱크 설계와 제작이 용이하다.²⁰⁾ 이 외에도 암모니아는 수소 대비 저장, 수송과정이 단순하고 비용이 저렴하며 폭발 가능성이 낮아 안전해 장거리 운송에 최적화되어 있어 이미 대량 생산, 운송 및 취급 기술의 성숙도가 높다는 특징을 강점으로 들 수 있다.²¹⁾

또한 암모니아는 상온에서도 압력을 가하여 액상으로 유지되는 특성이 LPG와 비슷하여 LPG의 인프라를 그대로 사용할 수 있다. 그러나 상대적

20) 한국선급(2021.01), p. 56.

21) 이넷뉴스(2022.04.15.)(검색일: 2022.12.18.)

으로 낮은 체적 에너지밀도로 인해 기존 디젤 연료 대비 약 4배에 달하는 체적의 저장탱크가 필요하고, 암모니아가 공기 중의 황산 또는 질산 등의 물질과 결합할 경우 초미세먼지를 발생하는 주요성분이 되기 때문에 엔진 또는 저장탱크로부터 배출되지 않도록 주의해야 한다.

〈표 3-1〉 암모니아의 연료 특성

구분	특성
분자식	NH ₃
분자량	17.031
끓는점	-33℃
증기압(20℃)	758kPa
밀도(1기압 상태)	0.86 kg/m ³ (기체), 381.9kg/m ³ (액체)
물에 대한 용해도(℃)	531 g/l
가연 범위	15~28%
자연 발화 온도	651℃
최소 점화 에너지	8mJ

자료 : 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

암모니아는 인체 점막을 자극하고 심할 경우 질식사에 이르게 하는 독성이 있으므로 누출에 주의해야 하며, 구리, 아연 및 그 합금과 고무에 부식성이 존재하기 때문에 암모니아에 내식성이 있는 재료를 사용해야 누출에 대한 위험을 최소화할 수 있다. 이처럼 암모니아는 독성의 위험성을 지니고 있으나 무색의 강한 냄새로 누출 시 신속한 발견이 가능하며 제거가 용이하고 폭발성이 거의 없어 안전하게 사용할 수 있다.²²⁾

또한 암모니아 연료는 가솔린과 비교시 kg당 0.4배의 열량인 18.6 MJ/kg이나,²³⁾ 가솔린 연료 대비 전파속도가 현저히 떨어지고 연료 특성에 의해 질소산화물(NO_x)이 발생할 수 있으며 엔진 제어에 따라 암모니아슬립이 발생해 가스와 함께 배출될 수 있는 단점이 있다.²⁴⁾

22) 천정민(2022), p.74.

23) 장진영 외(2015), p. 1.

24) 한국선급(2021.01), p. 20.

2. 청정 암모니아의 정의

암모니아는 결합하는 수소의 종류에 따라 그레이·블루·그린 암모니아로 분류할 수 있다. 이 중 제조에서 활용에 이르는 전 과정에서 온실가스를 배출하지 않는 블루·그린 암모니아를 청정 암모니아로 치칭하며, 블루 암모니아는 천연가스 수증기 개질을 통해 생산된 블루 수소를 사용해 암모니아를 합성하는 것으로, 하버-보슈 공정(Haber-Bosch process)²⁵⁾에 블루 수소를 공급하며 천연가스 가격 변동에 영향을 받고 탄소 포집·활용·저장(CCUS, Carbon Capture, Utilization and Storage) value chain 구축이 동반되어야 한다.²⁶⁾

〈그림 3-1〉 암모니아의 분류

청정 암모니아			
구분	그레이 암모니아	블루 암모니아	그린 암모니아
생산방식	그레이수소로 제조	블루수소로 제조	그린수소로 제조 (재생e 전력을 활용한 수전해 방식으로 수소를 생산한 후 공기 중 질소를 합성)
	화석연료에서 수소를 생산한 후 공기 중 질소를 합성		
온실가스	발생	수소 생산 시 발생	발생하지 않음
	처리	대기 중 방출	CCS를 활용하여 포집하므로 대기 중 방출되지 않음

자료: 전기저널(<http://www.keaj.kr>), 2022

추가적인 고성능 수전해 설비가 요구되는 그린 암모니아 대비 블루 암모니아는 기존 시설에 암모니아 제조 공정과 CCUS 설비만 추가하면 된다는

25) 고온 고압에서 철 촉매를 사용하여 암모니아를 대량으로 합성하는 방법으로 높은 온도에서 촉매를 사용함으로써 반응 속도를 증가시키고, 고압에서 반응시킴으로써 평형을 암모니아 생성 쪽으로 이동시켜 수율을 높임

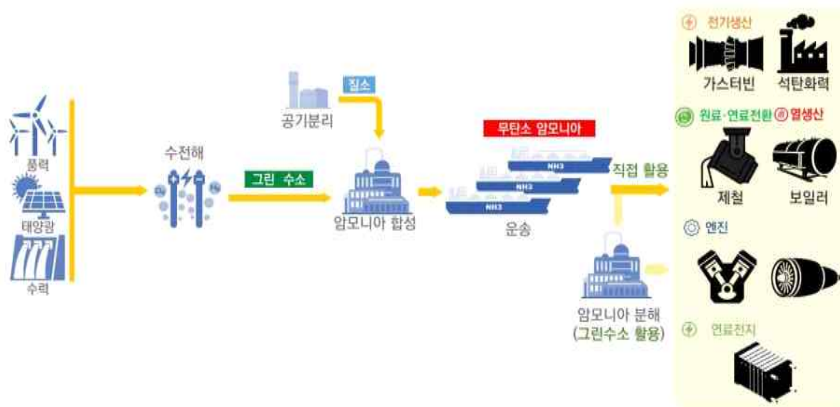
26) 전기저널(2022.05.04.)(검색일: 2022.12.18.)

장점이 있다. 관련 업계가 블루 암모니아 사업에 박차를 가하는 이유도 현실적으로 탄소배출량을 저감하면서 가장 경제적으로 암모니아를 생산할 수 있어 수소경제 전환 과도기에 효율적인 수단이 될 것으로 전망되기 때문이다.²⁷⁾

그린 암모니아는 재생에너지를 이용한 수전해를 통해 생산된 그린 수소를 하버-보슈 공정에 공급해 생산되며 재생 전력 사용을 최대화 하여 생산 도중 배출되는 CO2 농도를 최소화한다.

따라서 태양광과 풍력 등 신재생 에너지로부터 생산된 전기 가격과 수전해 생산 용량에 크게 영향을 받으며, 현재 전 세계에서 진행중인 그린 수소 생산 프로젝트의 85% 이상이 그린 암모니아 생산과 연계되어 진행되고 있다.

〈그림 3-2〉 그린 암모니아 생산 및 활용 개념도

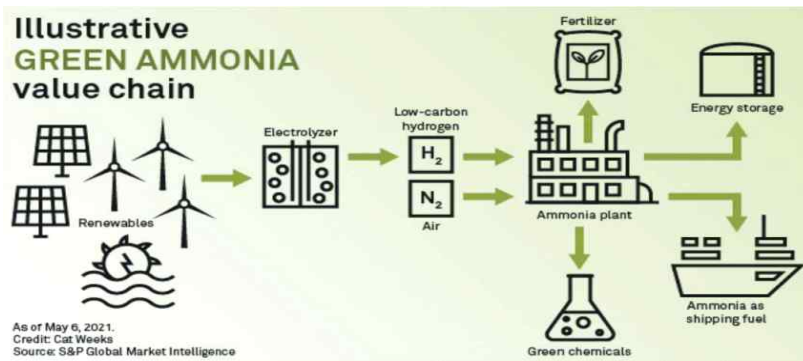


자료: 한국에너지기술연구원, Climate technology brief, No. 42.

27) 한화토탈에너지스(2022.10.31.)(검색일:2022.12.18.)

액화하여 저장이 쉬운 암모니아를 수소 밸류체인에 연계하여 공기 중의 질소와 전기화학적 방법으로 생산하여 이용하게 되면, 수소의 저장 및 운송 매체로서 이용은 물론 에너지원으로서의 연료등 폭넓게 활용할 수 있다.

〈그림 3-3〉 암모니아 밸류체인



자료: S&P Global Market Intelligence, 2021

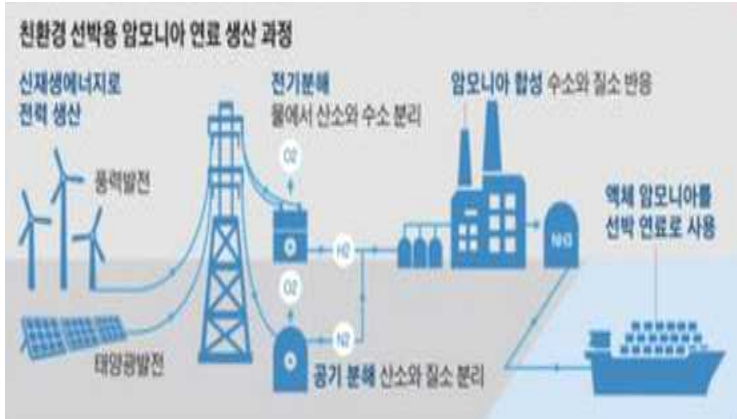
제2절 암모니아 추진선 건조 동향

선박 연료로서 암모니아를 활용하기 위해서는 액체 상태인 액화 암모니아가 필요하며, 암모니아는 LPG와 같이 상온에서도 일정 압력을 가하게 되면 액화가 돼 비교적 액화하기 쉬운 가스이다.²⁸⁾

기존 화석 연료와 액화 암모니아 비교 시, 약 4.1배 정도의 탱크가 요구되며, 상대적으로 큰 저장탱크를 단점으로 들 수 있으나 저렴한 운송 비용과 이미 운송 기술이 확보되어 있다는 점을 장점으로 꼽을 수 있다.

28) 뉴스핌(2021. 04. 18.)(검색일: 2022. 12. 18.)

〈그림 3-4〉 친환경 선박용 암모니아 연료 생산 과정



자료: 이산화탄소 배출 제로... '암모니아 선박' 나온다, 조선일보(2021.03.17.)

선박에 적용 가능한 암모니아 연료 기관은 바르질라(Wärtsilä)사와 만에너지솔루션(MAN Energy Solution)사에서 개발이 진행 중이다. 국내에서는 삼성중공업, 현대미포조선, 대한조선 등 국내 조선업체 또한 만에너지솔루션 등과 공동으로 암모니아 추진선박 공동개발 프로젝트를 진행 중이다. 대우조선해양 또한 암모니아 연료 선박 관련 기술적, 경제적 타당성 조사 연구를 수행했으며, HFO, LNG 등과 암모니아 연료의 온실가스 감축 경쟁력을 비교, 분석한 바 있다.²⁹⁾

현재 개발하고 있는 암모니아 엔진은 LPG, LNG 연료 엔진 등과 개념이 유사한 것으로 파악되며, 암모니아는 연료속도가 느리고 자연발화 온도는 높아 점화시키기 위해서는 파일럿 오일(pilot oil)이 필요하다. 암모니아는 내연기관의 연료로서 직접 연소하는 방식 외에 연료전지 연료로도 활용되고 있다.³⁰⁾

29) 이후경·우영민·이민정(2021), p.94.

30) 한국선급(2021), p. 39.

〈표 3-2〉 암모니아 추진선 관련 동향

기업(국가)	주요 내용
MAN Energy Solutions (MAN ES, 독일)	<ul style="list-style-type: none"> • 24년까지 암모니아 추진 대형 엔진(two-stroke) 개발 상용화 목표('19) 및 독일정부(BMWi) 지원은 Four-Stroke 엔진 기반 암모니아 이종연료 'AmmoniaMot' 프로젝트 추진(21.04)
현대미포조선 (우리나라)	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 로이드 선급에서 Man ES사와 공동개발 중인 암모니아 추진선에 대해 국내최초 기본 인증(AIP) 획득(20.07) 및 25년 상용화 목표
삼성중공업 (우리나라)	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 추진 아프리카막스 탱커에 대해 영국 로이드 선급의 기본 인증 획득, 독자 암모니아 연료공급 시스템 개발 등 추진(20.09) 및 24년 상용화 목표
대우조선해양 (우리나라)	<ul style="list-style-type: none"> • Man ES사와 함께 초대형 암모니아 추진 컨테이너선(23,000TEU급)에 대해 영국 로이드선급의 기본인증 획득(20.10) 및 25년 암모니아 추진선 상용화 목표
대한조선 (우리나라)	<ul style="list-style-type: none"> • Man ES사, 한국선급, 목포해양대, 로이드선급과 암모니아 연료 추진 선박 공동개발 MOU 체결(21.04)
HMM, 롯데정밀화학, 한국선급 등(우리나라)	<ul style="list-style-type: none"> • 그린암모니아 해상운송 벙커링 컨소시엄 출범(21) • HMM, 롯데정밀화학, 롯데글로벌리스, 포스코, 한국선급, 한국조선해양은 친환경 선박 및 해운시장 선도를 위해 벙커링 기술개발 및 그린 암모니아 해상운송, 가치사슬 구축 협력을 위한 업무협약 체결

자료: 암모니아 정책 및 산업 동향, 한국에너지기술연구원(2021)

클락슨 리서치에 따르면, 2022년 신조선시장의 전체 발주량에서 점유하는 대체연료선박의 비율이 CGT(Compensated Gross Tonnage, 표준화물선환산톤) 기준으로 61%에 달했으며, 전년 31% 대비 대폭 상승하며 사상 최고치를 기록한 바 있다.³¹⁾

대체연료선 중 LNG 연료선이 397척(3,670만GT)로 과반을 차지했으며, 이어 암모니아 연료 추진선박으로 개조 가능한 암모니아 레디 사양이 90척, 770(GT)로 11%, 메탄올 연료이 43척, 500만GT로 5%를 점유했다.

중국 최대 조선소그룹 CSSC와 일본 NSY 등에서 암모니아 추진선박을

31) 아이뉴스24(2023.02.15.)(검색일 : 2023. 02. 16.)

개발하고 있으며, 국내 조선 3사도 암모니아 추진 탱커, 컨테이너선의 개발을 알리는 등 암모니아 추진 선박 개발이 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 현재 암모니아 연료 선박의 개발이 신속하게 진행되고 있어 2024~2025년 엔진 개발, 2026~2027년 경 상용화되어 2035년 이후에는 암모니아 연료 추진선이 LNG 연료 추진선을 대체하는 주력 선박이 될 것으로 전망되고 있다.³²⁾

〈표 3-3〉 암모니아 추진선 발주 현황

기업(국가)	주요 내용
싱가포르 해운사 퍼시픽 인터내셔널 라인스 (Pacific International Lines, PIL) ³³⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 2022년 7월, 싱가포르 PIL은 중국 양쯔장조선과 8000TEU급 선박 4척에 대한 건조 계약을 체결함. 거래 규모는 4억8000만 달러(약 6276억원) 수준으로 2025년에 인도될 예정임 • 2022년 3월, 중국 국영 장난조선소에 4척의 LNG 이중 연료 1만4000TEU 선박 건조를 의뢰했으며, 거래 규모는 1억6000만 달러로 해당 선박도 암모니아 추진 연료로 건조됨
싱가포르 해운사 이스턴 퍼시픽 쉬핑 (Eastern Pacific Shipping, EPS) ³⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 2022년 6월, 싱가포르 EPS는 우리나라 현대중공업에 암모니아 이중 연료 가스 운반선을 발주하기 위해 싱가포르 해양항만청(MPA), 미국해운국(ABS) 등과 암모니아 이중 연료 가스 탱커에 대한 양해각서(MOU)를 체결함. 연료 암모니아 탱커는 중형 가스 운반선, 대형 가스 운반선 또는 초대형 가스 운반선 중에 하나의 형태로 건조될 예정이며, 신조선은 이르면 2025년에 인도될 예정임
일본 해운사 이노카이운 (Iino Kaiun) ³⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년 10월, 일본 이노카이운은 우리나라 현대미포조선과 암모니아 추진선으로 전환할 수 있는 2만 3000CBM(m³)급의 '암모니아 레디(Ammonia ready)' 선박 건조 계약을 체결했으며, 2023년 12월에 인도될 예정임
말레이시아 해운사 MISC 자회사 AET ³⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 2022년 4월, 말레이시아 국적 대형 해운사 MISC 자회사 AET는 우리나라 삼성중공업, 영국 로이드선급협회 등과 친환경 연료로 운항 가능한 초대형 원유운반선 2척의 개발·건조를 위한 양해각서(MOU)를 체결함. 신조선은 그 린 암모니아 추진선으로 건조되며, 2025·2026년 각 1척씩 인도될 예정임

32) KDB산업은행 미래전략연구소 산업기술리서치센터(2021.12)

33) THE GRUE GLOBAL NEWS(2022.07.06.) (검색일:2022.12.18.)

사우디아라비아 아람코 ³⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년 3월, 사우디 아람코는 우리나라 현대중공업지주와 수소 및 암모니아 관련 MOU를 체결하며 암모니아선 개발에 착수함. 조선사업 중간지주사 한국조선해양은 2021년 9월 업계 최초로 암모니아 연료 추진을 위한 핵심 기술인 연료 공급 시스템 개념 설계 인증(AIP)을 획득한 바 있음
----------------------------	---

자료: 저자 재구성

제3절 암모니아 병커링 구축 동향

1. 병커링 동향 및 전망

현재 천연가스가 풍부한 곳을 위주로 암모니아를 생산하여 수출하기 위한 터미널이 위치하고 있으며, 이미 전 세계에 수출입 항구와 기반 시설이 구축되어 있어 암모니아 생산 및 수출 프로젝트의 증가와 함께 암모니아 병커링 항만은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 우리나라는 인천 15,000톤, 여수 50,000톤, 울산 93,000톤의 저장시설을 가진 터미널을 보유하고 있다.

싱가포르, 네덜란드, 노르웨이, 호주 등 다양한 국가에서 신규 그린 암모니아 터미널 및 공급 인프라 개발 프로젝트를 적극적으로 추진하고 있으며 관련 산업 또한 급속도로 성장하고 있다. 향후 암모니아 생산과 수출 프로젝트 증가와 더불어 암모니아 병커링 항만은 점진적으로 증가할 것으로 예상된다. <표 4-4>는 그레이 암모니아 터미널로, 38개의 수출 터미널, 88개의 수입 터미널, 이중 6곳은 수출입이 모두 가능한 터미널이다.³⁸⁾

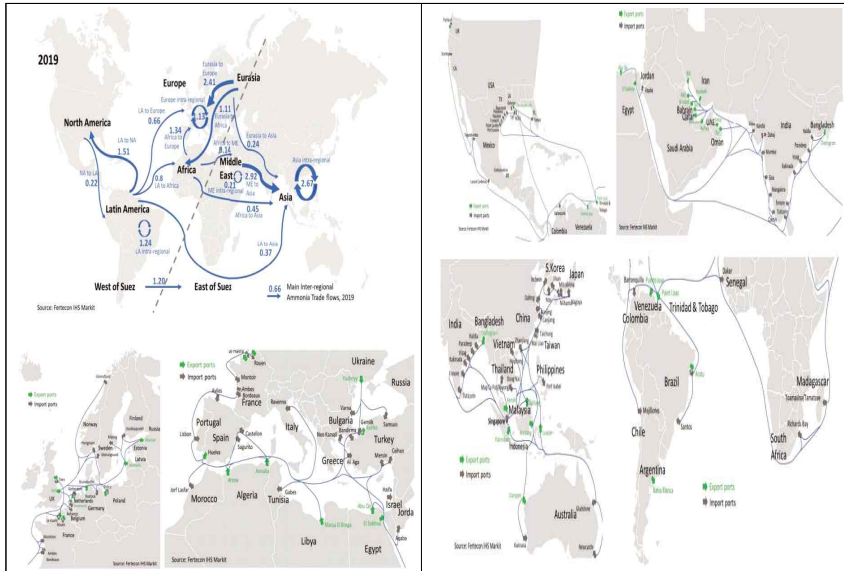
34) THE GRUE GLOBAL NEWS(2022.06.11.)(검색일:2022.12.18.)

35) 머니투데이(2021.10.16.)(검색일:2022.12.18.)

36) 머니투데이(2022.04.08.)(검색일:2022.12.18.)

37) 아주경제(2021.03.03.)(검색일:2022.12.18.)

〈표 3-4〉 세계 암모니아 수출 무역항과 무역 규모



자료: ALFA LAVAL, HAFINA, HALDOR TOPSOE, VETAS, SEMENS, Ammonofuel, An industrial view of ammonia as a marine fuel, 2020

암모니아 병커링 시설은 이미 구축된 암모니아 그리드와 저장 시설을 기반으로 소형 유조선 및 가스 선박을 병커바지선으로 전환함으로써 신속하고 효율적인 비용으로 병커링 네트워크를 구축할 수 있다. 기존의 저장시설을 기지국으로 활용할 수 있으며, 병커링 바지선을 이용하여 병커링이 필요한 선박에 접근하여 작업을 수행할 수 있는 것이다.

온실가스 배출감축 압박에 비해 탈탄소화가 어려운 선박 및 석탄가스 발전소에서 암모니아를 직접 활용할 수 있는 기술개발이 본격화되는 추세로 무탄소 연료로써의 암모니아 수요가 급격히 확대될 것으로 예상된다.

현재 글로벌 해운사, 조선사, 중공업 등의 주도로 암모니아 추진 엔진, 암모니아 연료전지, 선박 실증 등에 대한 연구가 활발히 추진 중이다.

38) 한국선급(2023), pp.38-39.

〈표 3-5〉 암모니아 벙커링 및 터미널 프로젝트 진행 현황

기업(국가)	프로젝트 주요 내용
Proton Ventures(네덜란드), Trammo DMCC(UAE)등	<ul style="list-style-type: none"> • 네덜란드 로테르담 항만에 최대 250만톤의 그린 암모니아를 수입하기 위한 그린 암모니아 수입터미널 건설 추진 • 연 250만톤의 그린 암모니아를 로테르담 터미널로 수입하기 위해 브라질 Ceara 주 Pecem Complexdo 20억 달러 투자 결정
머스크(덴마크), Keppel Offshore & Marine(싱가포르 등)	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최대 규모 벙커링 항만인 싱가포르항에 그린 암모니아 벙커링 허브를 구축하기 위한 공동 타당성 조사 MOU 체결 • 비용 효율적인 그린 암모니아 공급망 개발, 암모니아 벙커링 용기 설계, 그린 암모니아 공급망 인프라 개발 등에 대한 타당성 조사 실시
RWE(독일), H2U(호주)	<ul style="list-style-type: none"> • 독일-호주 간 그린 수소 거래를 위한 MOU 체결 • 독일 북해 연한 Brunsbittel의 LNG 터미널을 그린 암모니아 수입 터미널로 활용
Azane Fuel Solutuions(노르웨이)	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 그린 암모니아 벙커링 터미널 구축(항만식, 부유식 벙커링 기반 시설 구축) • 선박, 트럭, 바지선 등으로부터 냉장 또는 기압 상태의 청정 암모니아를 선박에 연료로 공급하는 최적화된 벙커링 솔루션 개발
Royal Vopak(네덜란드), Moda Midstream(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 휴스턴 항에 청정 암모니아를 저장, 유통하기 위한 터미널 구축 완료
Itochu(일본), Ube industries (일본) 등	<ul style="list-style-type: none"> • 일본 내 암모니아 공급 허브 구축 및 암모니아 연료 선박 개발을 위한 합작 투자 추진(21.03) • Itotsu는 일본 내 암모니아 공급 허브 구축 및 벙커링 선박 개발, Ube industries는 선박연료 육상공급 시설 개발, Uyeno Transtech는 암모니아 벙커링 선박개발 및 안전을 담당
NYK Line, Japan Marine United Corp, Nippon Kaiji Kyoka(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 추진 암모니아 운반선박(Ammonia-fueled ammonia gas carrier) 및 암모니아 부유식 저장 및 재기화 바지선(Ammonia Floating Storage and Regasification Barge) 공동연구개발 계약 체결(20.08)

자료: 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

최근에는 일본 자원개발 기업인 인팩스 코퍼레이션(INPEX Corporation)이 상업용 선박에 암모니아 연료를 공급할 수 있는 암모니아

병커링 선박의 개념 연구를 완료했다고 밝힌 바 있다. 이번 연구는 미쓰비시 조선과 공동으로 진행되었으며, 향후 확산될 것으로 예상되는 암모니아 선박의 연료 공급수요에 부응할 것으로 기대된다.³⁹⁾

우리나라 또한 2021년 10월, 부산을 암모니아 친환경에너지 규제자유특구로 지정하여 친환경에너지인 암모니아를 활용한 실증을 통해 탄소중립 신사업 생태계를 구축하고 있다.⁴⁰⁾ 특구 지정을 통해 정부는 친환경선박 개발, 이동형 표준용기 개발, 이동형 기반 선박용 암모니아 연료충전 실증을 목표로 하고 있다.

〈표 3-6〉 부산암모니아 친환경에너지 특구 지정 사업 내용

특구명	사업(3건)	규제특례(5건)
부산 암모니아 친환경에너지	암모니아 기반 연료전지 하이브리드 친환경 선박 실증	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 기반 연료전지 추진선박의 건조, 검사기준 마련 • 암모니아용 수소수출기 관련 허가 검사 기준 마련
	이동형 ISO탱크컨테이너(액화암모니아 표준용기) 실증	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아용 ISO 탱크 용도, 용적변경 • 암모니아용 ISO탱크 재질 확대
	이동형 기반 선박용 암모니아 연료 병커링 구축 및 안전성 실증	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아를 이동형 기반 육상에서 선박으로 직접 충전 기준 마련

자료: 중소벤처기업부, 부산 암모니아 친환경에너지특구 지정, 탄소중립 뒷받침(21.11.04)

탄소중립으로의 전환을 위해서는 친환경에너지 사용이 중요한 역할을 담당하고 있으며, 특히 암모니아는 수소보다 저장성이 좋고 상온에서 이송이 용이해 선박 연료로 주목받고 있으며 향후 수요 증대로 신사업 창출도 유도할 수 있다. 정부는 부산의 암모니아 친환경에너지 특구 지정을 통해 탄

39) 월간수소경제(2023.02.07.)(검색일: 2023.02.14.)

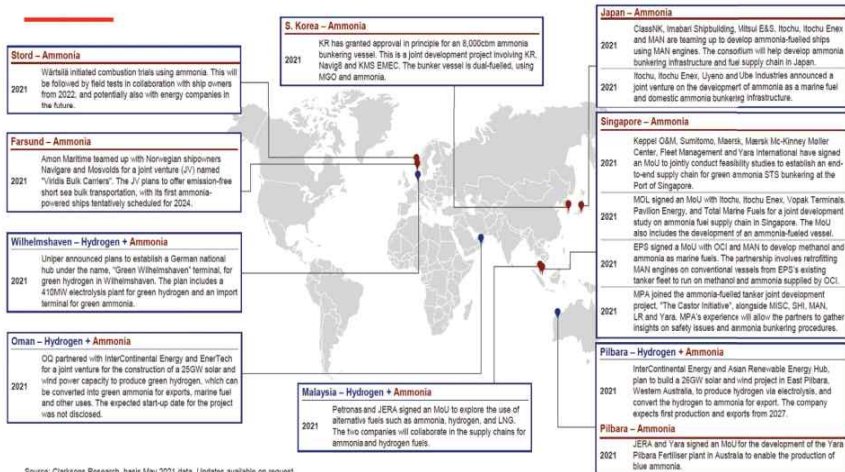
40) 지역특구법 제77조에 따라 규제자유특구 계획의 승인, 규제자유특구 지정 등에 관한 사항을 심의의결하기 위하여 설치운영(위원장 국무총리)

소중립 연료인 암모니아를 활용한 선박 신기술 조기 확보와 사업화의 기초 토대를 마련하고, 친환경선박, 병커링 등 핵심 기자재 관련 기업들이 집적된 지역으로 국내 친환경 조선산업의 역량 강화 및 지역균형발전을 도모하고 있다.

현재 암모니아는 비료 산업을 위해 180million ton이 중국, 러시아 미국 등에서 생산되고 있으며, 전 세계에 공급망이 갖추어져 있는 것으로 파악되었다. 이처럼 많은 암모니아 생산 프로젝트들이 신재생 수소 프로젝트와 함께 추진되고 있다.

비료 산업 외 석유화학과 발전 분양에서 수요가 증가하고 있어 암모니아 생산 용량과 공급 인프라는 <그림 5-5>와 같이 향후 더욱 확장될 것으로 전망된다.

<그림 3-5> 국가별 암모니아 병커링 설비 개발 현황 및 계획



Source: Clarksons Research, basis May 2021 data. Updates available on request.

자료: Fuelling Transition_Tracking The Economic Impact Of Emission Reductuins and Fuel Changes-April 2022, p.113

2. 선박연료로써의 전망

현재 글로벌 경제구조가 탄소중립으로 전환되는 과정에서 암모니아는 재생에너지의 시간적 가변성과 지역적 편재성을 해결할 수 있는 에너지 캐리어(energy carrier)로써, 수송, 발전 등의 분야에서 활용 가능한 탄소 중립 연료로 각광받고 있다.⁴¹⁾

세계에서 암모니아는 2018년 기준 수소 생산량의 30% 이상을 활용하여 약 175백만톤 생산되고 있다. 액상암모니아는 액화수소보다 동일 부피에서 1.7배 수소 저장 밀도가 높고 이미 확립되어 있는 국제 공급망 활용이 가능하여 대규모 장거리 수소 저장 및 운송에 적합한 저장체로 주목받고 있는 추세이다.⁴²⁾

해운산업은 세계 CO₂ 배출량의 약 2.5%를 차지하면서 탈탄소화가 어려운 산업 분야로 간주되어 왔으나 IMO 규제가 강화되면서 수소, 암모니아, 바이오 연료 등의 저탄소 연료가 감축수단으로 부상하고 있다.⁴³⁾

국제에너지기구(IEA)는 ‘2020 에너지 전망 보고서’를 통해 암모니아, 수소 등이 선박 연료로 활용되는 비중이 점진적으로 확대되어 2060년 경에는 60% 이상의 신조선이 저탄소 연료를 도입할 것으로 예상한 바 있다.⁴⁴⁾

특히 암모니아의 비중이 절반 가까이 차지할 것으로 분석하면서 선박에 한해 차세대 에너지원은 수소 보다 암모니아가 더 각광받을 것으로 전망했다. 또한 IEA는 넷제로(Net Zero) 2050 시나리오에서도 선박연료 부문에서 암모니아가 차지하는 비중이 2030년 8%, 2050년 46%로 확대될 것으로 예측하기도 했다.⁴⁵⁾

41) 가스신문(2022.08.26.)(검색일 : 2022.12.18.)

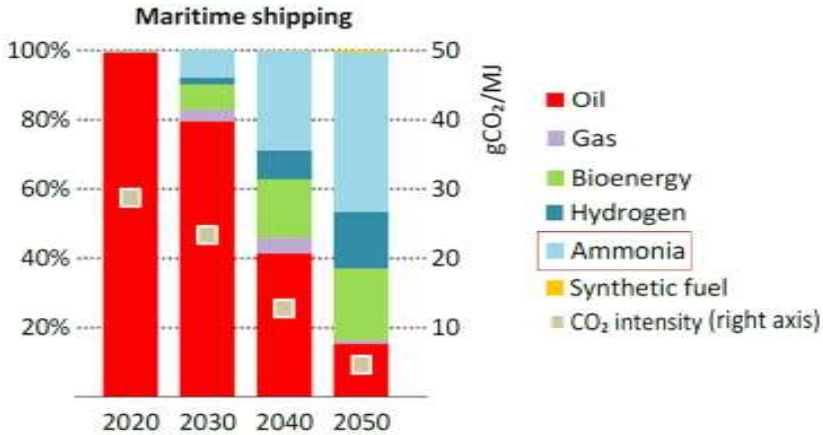
42) BloombergNEF, 2019

43) 에너지경제연구원(2022), p.10.

44) IEA, 2021

45) 해양한국(2020.10.05.)(검색일 : 2022.12.18.)

〈그림 3-6〉 해상부문 연료별 소비 비중



향후 선박연료로서 암모니아가 시장에 진입하기 위해서는 생산과 공급 인프라가 확충되어야 하며, 선박 추진을 위해 필요한 연료 탱크, 연료 공급 시스템, 엔진 기술 등이 개발되어야 한다. 석탄 가스화로부터 얻어지는 그레이 암모니아는 LSFO보다 비싸므로 시장 진입이 곤란하다.

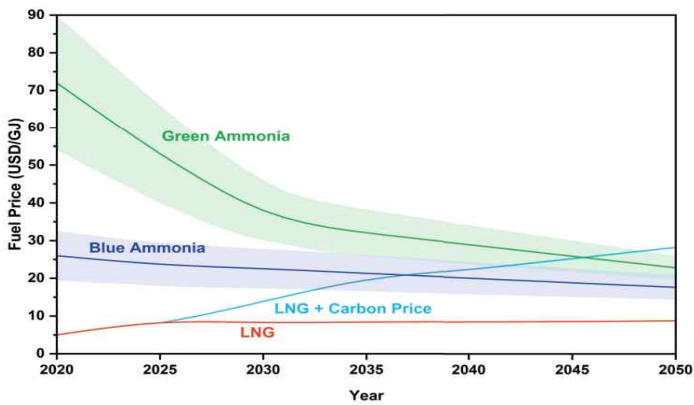
블루 암모니아는 CO₂ 배출이 있어 탄소세 부과 여부가 가격에 영향을 미칠 것으로 전망되며, 그린 암모니아는 신재생 에너지원으로부터 생산된 전기 가격에 따라 생산 단가에 큰 영향을 받을 것으로 예상된다.

신재생 에너지 비용이 지속적으로 감소하면서 중장기적 관점에서 청정 암모니아는 탈탄소를 위한 매력적인 연료로 고려된다. 탄소세는 연료와 관련된 선박 운항 비용에 큰 영향을 미치며, LNG로 운항하는 선박에 탄소세가 적용되는 경우 연료비용은 지속적으로 증가하게 된다.

탄소세가 적용되는 경우 그린 암모니아의 연료가격은 감소하는 반면 탄소세가 적용된 LNG 가격은 단계적으로 증가하게 된다. 기간의 경과에 따

라 탄소세가 증가하는 반면 그린 암모니아 생산 단가가 꾸준히 낮아지면서 2045년 경 암모니아를 연료로 사용하는 것이 연료 가격 면에서 유리하다는 것을 의미한다.

〈그림 3-7〉 LNG와 블루 및 그린 암모니아 연료 가격 예상(탄소세 적용)



자료: 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

선박용 연료로서 대체연료의 적용을 검토할 때 경제성 및 친환경성에 대한 검토가 우선되어야 한다. 또한 제한된 선박 공간에서 연료적재량의 증가 정도를 검토하기 위해 부피 또는 무게당 연료의 에너지밀도에 대한 확인이 필요하다.

이 외에도 온실가스는 물론 대기오염물질 배출 규제 만족을 위해 투입되어야 하는 경제적 손실 및 대양 항해선박을 위한 연료 병커링 등의 공급 측면에서의 가능성도 고려되어야 할 것이다.

제4절 암모니아 선박 기술 동향

현재 암모니아의 해상연료로서의 가능성을 기반으로 하여 조선업계가 필두로 글로벌 조선, 선박용 엔진 제조사 등과 암모니아 추진선과 엔진 개발을 추진하고 있다. 그러나 암모니아가 선박 연료로 최초로 적용되는 상황에서 선박 관련 기본 인증은 대부분 선박 설계에 관한 것으로 암모니아 연료 기관과 관련한 선박 기술 개발은 아직 초기 단계에 있는 것으로 파악된다.

조선 시장에서 우위를 점하고 있는 국내 조선산업의 상황을 고려할 때 에너지의 다변화와 선박 온실가스 저감을 위해 국가차원의 적극적인 검토와 암모니아 선박 및 엔진의 핵심부품 개발이 선행되어야 할 것이다. 본 절에서는 현재 암모니아 선박에 도입되고 있는 개략적인 기술 사항을 서술하며, 세부적인 내용은 부록에서 자세하게 다루도록 한다.

1. 암모니아 연료 탱크

1) 설계 특징

IGC Code⁴⁶⁾ 상에서는 암모니아 탱크는 타입 A, B, C, 멤브레인(membrane) 타입을 사용할 수 있다고 정의되어 있으나, 실제로는 타입 A와 C가 주로 사용된다.

암모니아 연료 탱크 설계 시 쉽게 부식되는 구리 및 구리 합금 재질을 사용해서는 안 되며, 철판의 설계 인장 강도는 최대 허용치를 초과해서는 안 된다. 암모니아 저장 탱크는 누출 방지를 위하여 비파괴 검사 및 후열처

46) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk

리도 필요하다. 암모니아 저장설비의 용접 이음 부위에 대하여 100% 비파괴 검사를 수행하고 비파괴 검사에 합격하면 용접 이음 부위에 후열처리를 실시하여야 한다.⁴⁷⁾

2) 배치 특성

탱크와 연료 파이프의 배치 제한은 LPG 연료에 대한 요건과 유사하다. 탱크 위치는 손상 위험을 제한하기 위해 선박 측면과 바닥으로부터 최소 거리가 설정되어야 한다. 또한 화재 위험도가 높은 공간에서 떨어져 있어야 하며 손상 위험 영역으로부터 보호되어야 한다. 개방갑판에 위치한 저장 탱크와 장비들 또한 태양 복사열로 인해 상승할 수 있는 최대온도를 고려하여 자연 통풍이 확보되는 곳에 설치되어야 한다.⁴⁸⁾

2. 연료공급시스템

1) 연료공급시스템의 구성⁴⁹⁾

(1) 연료공급장치

연료 공급장치(Fuel Supply System, FSS)는 펌프, 열교환기, 밸브, 필터 및 계기로 구성된다. MAN에서 개발 중인 암모니아 연료 추진 엔진 연료 공급장치에서는 암모니아가 펌프로 80bar로 가압되고 열교환기를 통해 엔진에서 요구되는 온도 (25°C ~55°C)의 범위 내에 진입하도록 한다.

(2) 연료 밸브 트레인

연료 밸브 트레인(Fuel Valve Train, FVT)은 엔진과 보조 시스템 사이

47) 한국선급(2023), p.20.

48) 한국선급(2021), 2021, p.7.

49) 한국선급(2023), pp. 20~22를 토대로 정리·작성.

의 인터페이스로, 이상 상태 및 유지보수 중에 엔진에 연료를 안전하게 차단하고 질소를 퍼지하여 잔존 연료를 배출하여 연료공급시스템의 안전성을 보장한다.

(3) 재순환 시스템

재순환 시스템(Recirculation system)구현을 위해서는 재순환된 암모니아가 2상 조건으로 공급되지 않도록 상분리를 해야 한다. 엔진에서 리턴되는 암모니아는 다른 물질에 의해 오염된 상태일 수 있어 연료공급시스템 내에서 재순환된다. 재순환 시스템에서 분리된 암모니아 기체는 넥아웃 드럼으로 배출되고 안정화된 암모니아 기체가 포집 시스템에 유입된다.

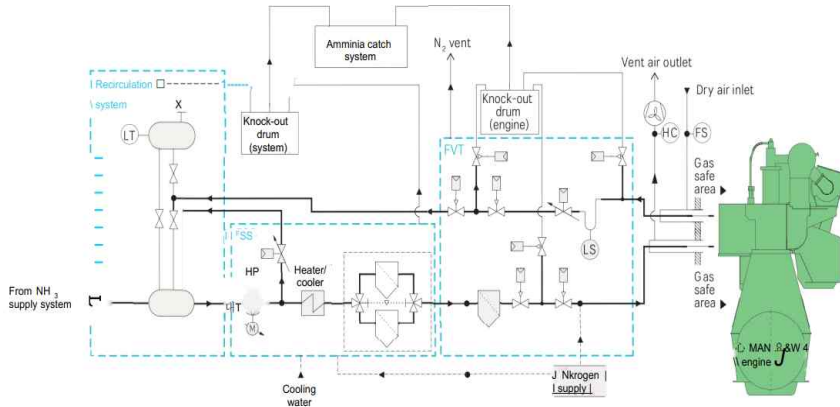
(4) 질소퍼지 시스템 및 넥아웃 드럼

이중 연료 작동 후 엔진 퍼지, 유지 관리 전 연료 배출 및 유지 관리 후 기밀성 테스트를 위해 질소를 공급해주기 위해서는 충분한 크기의 질소퍼지 시스템(N₂ purge system)이 필요하다. 넥아웃 드럼(Knock-out drum)은 암모니아 누출이나 섯다운 상황에서 암모니아가 액체 상태로 배출되는 것을 방지하는 역할을 한다.

(5) 암모니아 포집 시스템

암모니아는 강한 유독성과 부식성을 가지고 있으므로, 배출되는 암모니아는 반드시 포집되어야 하며, 물에 잘 흡수되는 특성을 이용하여 암모니아 포집 시스템에 적용할 수 있다.

〈그림 3-8〉 ME-LGIA 엔진연료공급시스템



자료: 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

2) 암모니아 연료공급시스템의 작동 원리

엔진이 암모니아 이중 연료로 작동 중이 아닐 시에는 연료 밸브 트레인 을 통해 엔진과 연료공급시스템을 감압하고, 공급 및 리턴 시스템과 엔진 룸을 완전히 차단한다. 엔진을 암모니아 연료로 작동하기 직전에는 가스 누출 여부를 확인하기 위해 질소로 가압하여 시스템의 기밀성을 확인한다.

암모니아 누출 등 비상 상황에서 섰다운 상황 발생 시, 암모니아 연료공 급시스템 내에 있는 암모니아가 신속히 배출되어야 한다. 따라서 암모니아 포집 시스템 설계 시 가장 많은 유량의 암모니아를 포집해야 하는 상황을 기준으로 암모니아 포집 시스템 용량을 설계해야 한다.⁵⁰⁾

3. 연료추진 엔진 개발 현황

50) 한국선급(2023), pp. 23를 토대로 정리·작성.

1) 현대중공업

현대중공업은 MAN-ES, WinGD의 2행정 선박 엔진 및 자체 개발한 4행정 힘센 엔진 생산 사업을 영위하고 있으며, 현대중공업그룹 중간지주사인 한국조선해양과 함께 친환경 엔진 연구개발을 수행하고 있다.

현대중공업 엔진기계사업부는 2022년 MAN-ES와 암모니아 운반선용 2행정 암모니아 엔진 개발 협력을 위한 MOU를 체결하여 2024년 세계 최초 2행정 암모니아 엔진 출시를 목표로 하였다.⁵¹⁾

2022년 6월 Posidonia 2022에서는 WinGD와 암모니아 엔진 공동연구 MOU를 체결하여 2025년 2행정 암모니아 엔진 출시를 목표로 하는 등 대형 선박 추진을 위한 2행정 암모니아 엔진의 설계, 안전, 연료 공급 솔루션 및 배기 후처리 시스템 등 개발에 대한 협력 개발 프로젝트를 진행하고 있다.⁵²⁾

이 외에도 현대중공업그룹은 암모니아를 연료로 구동하는 4행정 힘센엔진을 자체 개발하여 2024년에 출시한다고 발표했다. 암모니아 힘센엔진에는 2행정 암모니아 엔진과 마찬가지로 디젤모드 운전이 가능한 이중연료(Dual Fuel) 개념이 적용되며, 암모니아 연료 도입의 궁극적 목적인 GHG 저감 최대화를 위한 연구 및 기술개발이 진행 중이다.⁵³⁾

현대중공업그룹은 2021년 암모니아를 비롯한 저인화점 액체연료 분사 시스템 개념설계에 대해 한국선급과 DNV로부터 AIP 인증을 획득하는 등 암모니아 엔진 기술개발을 위해 한국선급, 한국기계연구원 등 국내외 유관기관들과 협력하고 있다.⁵⁴⁾

51) 이코노믹리뷰(2020.08.16.)(검색일:2022.12.18.)

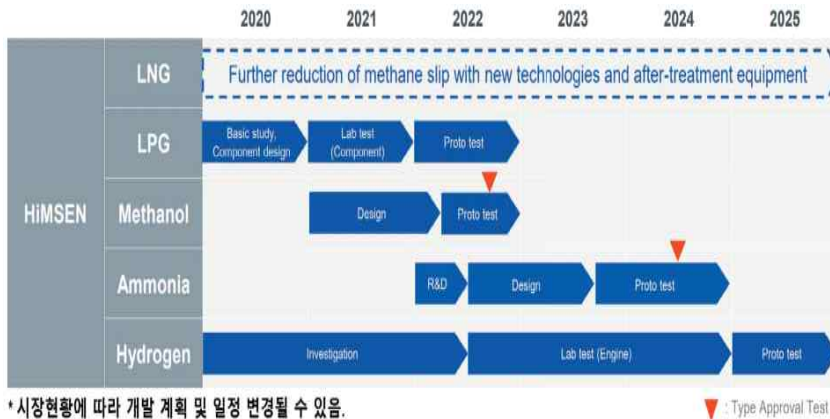
52) THE GRUE GLOBAL NEWS(2022.06.15.)(검색일:2022.12.18.)

53) 머니투데이(2022.02.28.)(검색일:2022.12.18.)

54) 현대중공업 보도자료(2021.05.13.)

현대중공업은 2012년 출시한 LNG 이중연료 힘센엔진, 2022년 출시될 메탄올 이중연료 힘센엔진과 더불어 2024년 암모니아 이중연료 힘센엔진을 출시함으로써 친환경 무탄소 및 저탄소 핵심 연료에 대한 라인업을 구축할 예정이다.

〈그림 3-9〉 현대중공업그룹의 암모니아 엔진 개발 로드맵



자료: 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

2) STX 엔진

STX엔진은 MAN-SE의 2행정 저속엔진 및 4행정 중속 엔진 사업 등을 영위하고 있으며, 2019년에 국내 최초로 천연가스 연료를 사용하는 선박 추진용 순수 가스엔진을 독자 기술로 개발하여 한국선급으로부터 형식승인을 취득하였다고 발표한 바 있다.⁵⁵⁾

STX엔진은 정부의 온실가스 감축 전략 및 IMO의 온실가스 규제에 대응하기 위해 단기통 엔진을 활용한 암모니아 연료 내연기관 프로젝트를 수행

55) 아시아경제(2020.01.07.)(검색일:2022.12.18.)

중인 것으로 파악되었다. 이와 동시에 STX엔진은 2021년 정부 지원을 통해 디젤-암모니아 이중연료 엔진 개발 프로젝트에 착수하였으며, 참여기관과 협력하여 엔진 개발 및 암모니아 연료의 안전성 평가 등을 수행할 계획이다.⁵⁶⁾

STX엔진에서 개발 중인 암모니아 엔진은 기존 중속 엔진의 이중연료 엔진 개념과 유사하나, 암모니아 연료 운전시에는 디젤과 암모니아 연료의 혼소점이 기존과 차이가 있다.

STX엔진은 2023년에 암모니아 첫 시제 엔진을 제작하고 2024년까지 육상 실증시험을 진행하여 CO2 배출량을 최소화하고 엔진의 내구성에 대한 신뢰성을 확보하는 것을 목표로 하고 있다.

이와 함께 암모니아 연소 시 발생하는 질소산화물과 유독성 물질인 미연소 암모니아 가스를 동시에 제거할 수 있는 피드백 제어 기반 배기 후처리 시스템을 독자 기술로 개발하여 시장에 출시할 계획이다.

또한 STX엔진은 개발 중인 암모니아 엔진을 2024년에 암모니아 혼소 연료추진시스템 선박에 탑재하여 해상 실증시험을 진행할 계획이며, 암모니아 연료에 대한 Safety System 등을 실증 평가함으로써 암모니아 엔진에 대한 안전성을 확보할 계획이다.⁵⁷⁾

56) THE PUBLIC(2021.06.11.)(검색일:2022.12.18.)

57) 한국선급(2023), pp. 23를 토대로 정리·작성.

3) MAN Energy Solutions

독일 MAN ES사는 2행정 암모니아 이중 연료 엔진을 개발하고 있으며, 2024년까지 개발을 완료하는 것으로 계획하고 있다. 2행정 디젤 엔진은 압축 착화 방식을 사용하는 엔진으로, 대형 선박에 선호되는 주요 추진 시스템이다. MAN ES사에서는 암모니아의 점화 및 연소 특성의 단점에도 불구하고, 선박 엔진은 속도가 느리고 부피가 크므로 연소 시 시간적 여유를 가질 수 있고, 오히려 열손실이 적게 설계할 수 있어 암모니아의 연소 특성을 장점으로 활용할 수 있다고 강조하고 있다.⁵⁸⁾

MAN ES 사는 2행정 LPG 이중 연료 엔진인 ME-LGIP 엔진을 기반으로 암모니아 엔진을 개발하고 있다. LPG와 암모니아의 엔진 구동 조건은 유사하지만, 발열량이나 부식성에 차이가 있어서 이를 고려해야 한다.

MAN ES사에서 발표한 자료에 의하면 암모니아는 80bar의 압력으로 엔진에 공급되어 연료 주입 밸브에서 600~700bar의 압력으로 가압되어 연소실 내에 주입된다.

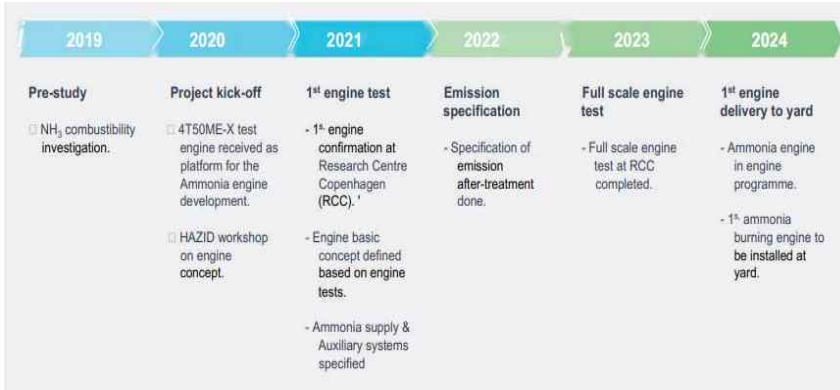
또한 암모니아의 연소 특성을 보완하기 위하여 암모니아의 점화를 돕는 파일럿 연료가 필요하며 파일럿 연료는 기존 이중 연료 엔진과 동일하게 MDO/HF^o를 파일럿 연료로 사용한다.⁵⁹⁾ 파일럿 연료의 비율은 에너지 기준으로 5%를 목표로 개발이 진행되고 있으며, 완전한 무탄소 연료가 되기 위해서는 바이오 연료 또는 E-diesel을 파일럿 연료로 사용해야 할 것으로 판단된다.⁶⁰⁾

58) 관계부처 합동(2020), 2030 한국형친환경선박(Greenship-K) 추진전략

59) Fernando Marcos, March 2022. "MAN B&W Ammonia engine". Ingenieros navales

60) 한국선급(2023), pp. 15-16을 토대로 정리·작성.

〈그림 3-10〉 MAN ES - 2행정 암모니아 엔진 개발 로드맵



자료: 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망, KR(2021)

4) WinGD

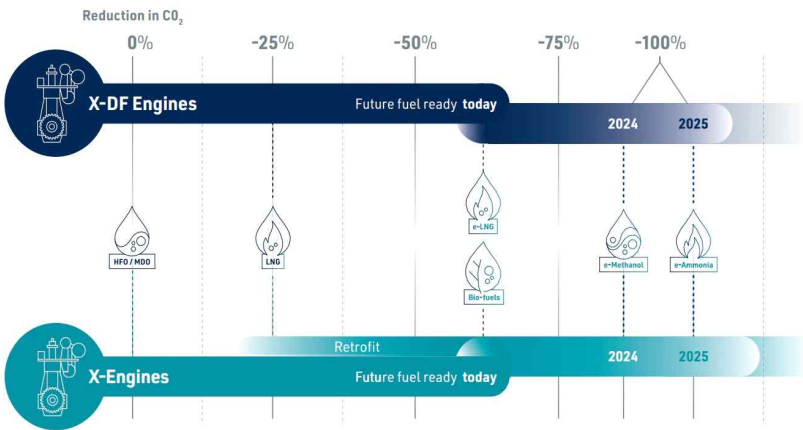
스위스 엔진 개발업체 WinGD(빈터투어가스엔디젤)는 2024년 메탄올, 2025년 암모니아로 연료로 사용할 수 있는 엔진 개발 계획을 발표했다. WinGD는 디젤 연료 X 엔진과 이중 연료 X-DF 엔진을 기반으로 다중 연료 솔루션을 확립할 예정이다. WinGD는 암모니아와 메탄올과 같은 무탄소 또는 저탄소 연료를 핵심 엔진 유형에 모두 적용하려고 하며, 이를 통해 선박 운항자들이 배기가스를 줄이기 위해 다양한 옵션을 확보할 수 있을 것이라고 주장했다. 또 2030년까지 주문받는 엔진의 50% 이상이 탄소중립 연료로 작동할 수 있는 다중 연료 엔진이 될 것으로 예상했다.⁶¹⁾

또한 WinGD는 2022년에 현대중공업과 MOU를 체결하여 2025년까지 암모니아로 구동할 수 있는 최초의 WinGD 엔진을 개발하여 인도하겠다고 발표했다. 이 사업에는 암모니아 엔진의 안전성, 배출가스 저감, 연료 공급

61) WinGD sets development time frame for methanol and ammonia engines, WinGD, Press release, 23, November 2021.

솔루션 개발 등이 포함될 예정이다. WinGD는 해당 프로젝트가 WinGD와 현대중공업이 선박용 암모니아 연료 엔진 개발에 상당한 이점을 줄 것이며, 향후 수십 년 내 다양한 선박에 적용할 수 있는 차세대 2행정 엔진 기술을 개발할 것이라고 발표했다.⁶²⁾

〈그림 3-11〉 WinGD사의 친환경 선박용 엔진 연료 개발 로드맵



자료: 조선BIZ, 현대중, 스위스社와 암모니아선 엔진 상용화 추진(2020.06.20.)

5) J-ENG

J-ENG, NYK Line, IHI Power Systems, Nihon Shipyard는 일본 경제산업성 신에너지산업기술개발기구(NEDO)의 지원을 받아 협력 사업단을 구성했다. 이후 2024년까지 일본 최초의 국산 암모니아 연료 엔진을 개발하여 예인선에 탑재하고, 2026년에는 암모니아 화물선에 암모니아 연료 엔진을 탑재하여 실증할 예정이라고 발표했다.⁶³⁾

62) 조선일보(2022.06.22.)(검색일:2022.12.18.)

63) Japan Funds Project for Ammonia-Fueled Engine by 2024, The Maritime Executive, 26 October 2021.

해당 사업 협력단은 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 암모니아 연료 선박을 개발하고, 암모니아 연료 선박과 관련된 안전 가이드라인, 법률 및 규정 개발 주도를 목표로 하고 있다.⁶⁴⁾

예인선에 암모니아 연료 엔진을 탑재하는 A-Tug 프로젝트에서는 암모니아 혼합 연소율을 80% 이상 달성을 추진하고자 하며, 더 큰 규모의 암모니아 추진 가스운반선(ammonia-fuelled ammonia gas carrier, AFAGC)에서는 주 엔진의 최대 암모니아 혼합 연소율 95%를 달성하고, 보조엔진은 최대 암모니아 혼합 연소율 80% 이상을 달성하여 온실가스 배출량 저감을 목표로 하고 있다.⁶⁵⁾

64) Japanese firms working on ammonia-fueled engines, Diesel & Gas Turbine Worldwide, 27 October 2021.

65) 한국선급(2023), p.19을 토대로 정리·작성.

04

수소 선박

제1절 수소 특성

수소(水素, Hydrogen)는 그동안 화학 분야의 원료 또는 농업 분야의 투입 비료로서 이용되어 왔다. 현재 선박 연료로서의 수소 이용은 미흡한 수준인데, 이는 수소의 생산 과정에서도 탈탄소화가 이루어지지 않으면 안 되기 때문이다. 생산 과정의 탈탄소화 시 비용이 증가하게 되어 수소 생산업체의 채산 악화가 발생할 수 있는데, 이는 수소 탈탄소화를 주저하게 만드는 원인이 되고 있다.⁶⁶⁾ 본 연구는 본 절에서 수소의 특성을 조사하였다.

1. 수소의 화학적 특성

1) 족의 분류

수소는 주기율표에서 첫 번째 화학 원소인 1족 1주기 원소로 원소기호는 H(Hydrogenium)이고 원자 번호는 1이다. 표준 원자량 규모는 1.008로,

66) 2050 수소 전망 예측, DNV, 2022, p 8 토대로 정리·작성

질량 기준 우주의 75%를 구성하는 우주에서 가장 흔한 원소이다. 실온에서 수소는 기체 상태인 H₂로 존재하며, 1족 원소 중 유일한 비금속 원소이다. 동위원소에는 중수소(2H) 및 삼중수소(3H)가 있다.⁶⁷⁾

2) 물리적 특성

수소는 실온에서 무색, 무미, 무독, 무취이며, 가연성이 높은 가스이다. 수소의 연소 시 폭발음과 함께 무색의 불꽃을 내며 타는데, 이때 산소와 수소가 융합하여 물 분자가 형성된다. 수소는 공기 중에서는 2~76%의 농도, 염소 화합물에서는 3~97%의 농도일 때 폭발성을 가진다. 수소 혼합물은 열, 불꽃 및 태양광 등에 의해 폭발하며, 자연 발화점은 대략 500℃이다. 수소의 주요 물리적 특성은 다음의 표와 같다.⁶⁸⁾

〈표 4-1〉 수소의 물리적 특성

단위: K, g/L, g/cm³, kPa, kJ/mol

구분		특성
녹는점/끓는점		• 14.01 K/20.28 K
밀도	기체(상온)	• 0.0898 g/L
	액체(녹는점일 때)	• 0.072 g/cm ³ (고체시 0.0763 g/cm ³)
	액체(끓는점일 때)	• 0.0709 g/cm ³
융해열		• (H ₂)0.117 kJ/mol
기화열		• (H ₂)0.904 kJ/mol
열용량		• (H ₂) 28.836 J/(mol·K)

자료: 欧州造船業・海運業等の脱炭素化の動向, 日本船舶技術研究協会, 2022, pp 7~11

2. 수소의 동위원소

67) 탄소중립을 위한 해양그린수소 육성 전략, 산업연구원, 2022, pp 2~3 토대로 정리·작성

68) 欧州造船業・海運業等の脱炭素化の動向, 日本船舶技術研究協会, 2022, pp 7~11 토대로 정리·작성

수소에는 세 개의 자연 동위원소(1H · 2H · 3H)가 있으며, 이외 불안정한 동위원소가 합성된 경우가 있으나(4H · 5H · 6H · 7H) 자연에서는 발견되지 않는다. 1H 는 자연 발견 수소들 중 99.92%를 차지하는 가장 흔히 발견되는 동위원소이며, 원자핵이 하나의 양성자로 구성되어 있어 경수소라고 불리거나 중수소와의 구별을 위해 Protium이라고 불리기도 한다.

2H 는 안정적인 동위원소로 중수소라고 불리며, 원자핵이 양성자 및 중성자로 구성되어 있다. 중수소는 방사성을 포함하지 않으며, 폭발 위험도 크지 않아 기화 형태로 운송 시 추후 선박 등의 추진체로 사용이 가능하다. 3H 는 삼중수소인데, 원자핵이 하나의 양성자와 두 개의 중성자로 구성되어 있다.⁶⁹⁾

제2절 수소 추진선 건조 동향

본 절에서는 수소 추진선의 건조 동향 등을 조사하였다.

1. 수소 추진선 개요

1) 수소 추진선 개념

수소 추진선은 선박에 탑재된 수소연료 배터리에 온실가스를 발생시키지 않는 산소와 수소를 공급해 산소와 수소의 화학반응을 일으켜 열과 물을 발생시키고 발생한 열에너지를 전기에너지로 변환해 프로펠러 및 모터를 회전시켜 추진력을 얻는 선박을 의미한다.

69) 2050 수소 전망 예측, DNV, 2022, pp 11~12 토대로 정리·작성

수소 추진선 건조는 현재 초기 개발 단계로 수소 고유의 물리적 특성으로 인해 기술 난이도가 높다. 수소는 상온에서 밀도가 낮기 때문에 수소 저장 탱크가 다른 친환경 연료 대비 부피가 크다. 예를 들어 수소 탱크의 부피는 LNG나 메탄을 저장 탱크 대비 약 2.5배, 암모니아 탱크 대비 약 4.0배에 달한다. 또한 수소는 자연 기화 방지를 위해 저장온도를 극저온에 해당하는 -250°C 이하로 하여 운반하여야 하므로 운반 시 극저온을 견딜 수 있는 특수 소재로 만들어진 저장용기가 필요하다.⁷⁰⁾

2) 수소 추진선 구성

수소 추진선의 선내 선박기기는 크게 세 파트로 구성된다. 첫째, 연료저장·공급시스템으로 이 기기는 연료인 수소를 저장하였다가 수소연료전지 시스템에 공급하는 파트이다. 둘째, 수소연료전지 시스템으로 이 파트는 수소를 연료로 하여 전기를 생산하고 저장한다. 셋째, 전기 추진 시스템으로 이 파트는 생산전력을 선박 추진 동력으로 전환한다.⁷¹⁾

(1) 연료저장·공급시스템

연료저장·공급 시스템은 수소를 저온의 기체 혹은 액체 상태로 연료탱크에 저장하는 수소연료 저장시스템과 수소연료전지 시스템에서 요구하는 온도, 압력 등의 조건에 부합한 상압 저온 액체 상태의 수소를 기화시켜 전지 시스템에 공급하는 시스템을 의미한다. 본 시스템은 펌프, 열 교환기, 기화기 등으로 구성된다.⁷²⁾

(2) 연료전지시스템

연료전지시스템(Fuel-Cell-System)은 수소 등의 화학에너지를 전기에너지로 전환시키는 발전기를 의미한다. 연료전지시스템은 수소 등 연료공

70) 水素燃料電池船の安全ガイドライン, 国土交通省, 2021, 8. pp 14~15 토대로 정리·작성

71) 船舶分野における燃料電池システムの展開, 海上技術安全研究所, 2020, pp 4~7 토대로 정리·작성

72) 전계서, p 6 토대로 저자 정리·작성

급장치, 연료전지 스택, 공기기화장치, 열배선 관리장치 등으로 구성된다. 연료전지는 전해질, 촉매 등에 따라 용융 탄산염 연료전지(MCFC; Molten Carbonate Fuel-Cell), 고분자 전해질 연료전지(PEMFC; Polymer Electrolyte Membrane Fuel-Cell), 고체 산화 연료전지(SOFC; Solid Oxide Fuel-Cell) 등으로 구분된다.⁷³⁾

〈표 4-2〉 수소연료전지시스템의 종류

단위: ℃, kW, MW

종류	전해질	촉매	출력 (용도)	작동온도
용융 탄산염 연료전지	• 탄산염	• 니켈	• 100kW	• 600
고분자 전해질 연료전지	• 고분자막	• 백금	• 10kW	• 70~100
고체 산화물 연료전지	• 세라믹	• 니켈	• 1kW	• 1,000
알카라인 연료전지	• 수산화칼륨	• 백금	• ~200kW	• 50~220
인산형 연료전지	• 인산	• 백금	• 1kW 이하	• 100 이하

자료: 船舶分野における燃料電池システムの展開, 海上技術安全研究所, 2020.

(3) 전기추진시스템

전기추진시스템은 통합제어 및 모니터링 시스템(ICMS; Integrated Control & Monitoring System)과 전기추진시스템(EPS; Electric Propulsion System) 등으로 구성된다. 전기추진시스템은 연료전지시스템 생산 전력을 선박 추진 동력원으로 전환하는 시스템이다.⁷⁴⁾

2. 수소 추진선 건조 동향

73) 전게서, pp 9~10 토대로 저자 정리·작성

74) 전게서, p 10 토대로 저자 정리·작성

1) 해외 수소 추진선 건조 동향

(1) 미국

2015년에 액화 수소전지를 탑재한 선박을 신조했으며, 이후에도 수소전지를 탑재한 고속 페리를 상용화하기 위해 연구개발을 하고 있다. 2019년에는 수소전지 개발을 촉진하는 「Water-Go Round」 프로젝트를 통해 개발한 수소전지 여객선이 샌프란시스코에서 항행을 했는데, 이는 세계 최초의 상용 수소선박 여객선이다.⁷⁵⁾

(2) 노르웨이

2018년 노르웨이의 HYON AS는 선박용 수소전지의 개발을 완료하고 선박용 수소전지 사상 세계최초로 독일 선급(DNV-GL)의 승인을 획득하였다. 이를 토대로 HYON AS는 노르웨이의 St. Andrews, 대학 등과의 협업을 통해 100명 이상이 승선할 수 있는 규모의 100kW급 페리선을 개발하고 있다. 이를 위해 선내 수소포집기술 및 하이브리드 전기 발전 시스템 개발도 함께 추진 중이다. HYON AS는 수소전지와 디젤엔진을 혼용하는 Sea Shuttle 수소 추진 컨테이너선 신조 프로젝트를 진행하고 있다.⁷⁶⁾

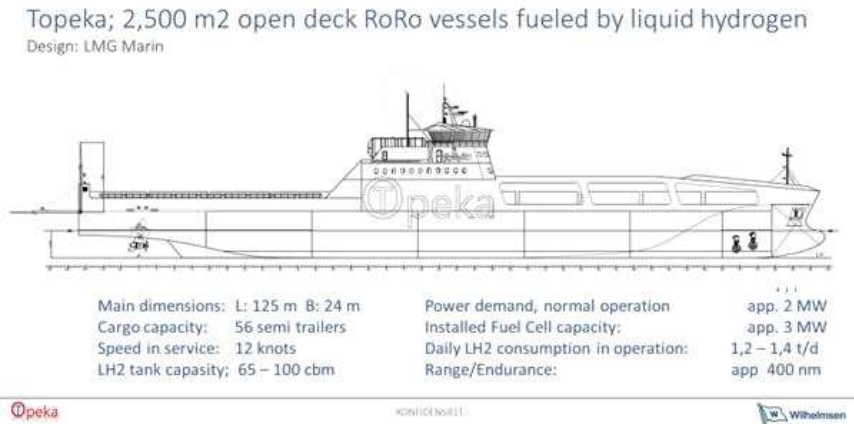
아울러 노르웨이 선주사인 Wilhelmsen은 2020년에 EU로부터 8백만 유로의 수소 추진선 재원을 지원받는 HySHIP 프로젝트를 통해 액화수소를 연료유로 하는 로로(roll-on roll-off)선의 건조를 시작하였다. 건조 중인 선박은 Tepka호로 1,200kWh 용량의 배터리와 3MW 수소전지를 탑재하고 있으며 2024년부터 인도·운영 예정이다.⁷⁷⁾

75) Fuel cell ferry Water Go Round finds fleet investment, <https://www.electrive.com/2019/06/13/fuel-cell-ferry-water-go-round-finds-fleet-investment/>, 2019. 6. 13.

76) Better together: batteries and fuel cells, <https://www.rivieramm.com/opinion/better-together-batteries-and-fuel-cells-54878>, 2019. 4. 30.

77) Topeka, the Wilhelmsen owned zero emission shipping company, launches two carbon

〈그림 4-1〉 노르웨이 Topeka 조감도



자료: Ship Technology Global, https://ship.nridigital.com/ship_jan21/hydrogen_ship_emissions, 2022. 12.

(3) 독일

2008년 독일 Proton Motor, Linde Group, Hamburg 대학 등은 합동으로 Zemships(Zero Emission Ships) 프로젝트를 실시하였는데, 약 30m 길이에 100여명이 승선할 수 있는 100kW급 수소전지 여객선인 'FCS Alsterwasser'호를 건조했으며, 동 선박은 지금까지 약 3,000시간 이상의 운항 실적을 가지고 있다. FCS Alsterwasser호는 400bar 규모의 저장 탱크에 50kg의 수소를 저장하면 3일 정도를 운항할 수 있으며, 연간 1,000kg의 SO_x와 70,000kg의 CO₂배출을 저감하는 효과가 기대된다.

2017년 독일 Innogy사는 덴마크 연료전지 제조사인 SerEnergy에서 제조한 35kW DMFC를 사용한 'MS Innogy'호를 건조하고 실증 운항에 성공하였다. MS Innogy호는 연료전지에서 배출되는 폐열을 수소 재생에 활

neutral, methanol fuelled container newbuilds, <https://www.wilhelmsen.com/>

용해 50% 이상의 전기효율을 달성할 수 있다.⁷⁸⁾

2) 우리나라 수소 추진선 건조 동향

2018년 3월 국내 27개 단체와 기업체 등이 참여하는 ‘수소선박추진단’이 발족되었으며, 수소 추진선 개발을 도모하고 있지만 예산 부족 문제로 현재 사업에 어려움을 겪고 있다.

우리나라의 수소 추진선 개발 동향을 살펴보면 한국조선해양은 2020년 상반기에 고체산화물 수소 연료전지의 실증센터를 구축하고 아울러 중·장기 계획 하에 수소 추진선 개발을 추진하고 있다. 2020년 10월에 한국조선해양, 현대미포조선, 현대글로벌비스는 공동으로 수소 추진선의 기본설계 도면에 대해 한국선급 및 해외 선급기관인 라이베리아로부터 인증을 획득하였다.

2021년 3월에 한국조선해양은 한국선급과 함께 ‘수소선박 안전 설계 규정 개발 관련 업무협약’을 체결하고, 세계 최초로 수소 선박 표준선형을 공동 개발하고 개발된 표준선형 설계 도안을 2022년 하반기에 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에 제출한 바 있다.

소형 친환경선 건조 전문업체인 빈센은 경북·울산·강원 3곳의 규제자유특구에 실증사업자로 참여해 수소 친환경선박을 연구·개발하고 있다. 2026년까지 국가스마트시범도시(부산시 에코델타 스마트시티)에 전기 추진선 3척과 수소 추진선 2척을 공급한다는 계획이다.⁷⁹⁾

78) 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. p 34 토대로 정리·작성

79) 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. pp. 37~39 토대로 정리·작성

〈표 4-3〉 우리나라 수소 추진선 건조 동향

구분		주요 동향
'20년 상반기	한국조선해양	• 고체산화물 수소 연료전지 실증센터 구축
'20년 10월	한국조선해양	• 수소 추진선의 기본설계 도면에 대한 인증 획득(한국선급, 라이베리아)
	현대미포조선	
	현대글로비스	
'21년 3월	한국조선해양	• 수소 선박 표준선형 공동 개발 및 IMO 제출
~'26	빈센	• 수소선박 2척 건조 목표

자료: 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. 토대로 정리·작성

제3절 수소 병커링 구축 동향

본 절에서는 국내외 수소 병커링 구축 동향 등을 조사하였다.

1. 수소 병커링 개요

수소 병커링은 수소 연료를 선박에 급유하는 것을 의미한다. 한편 포집된 수소 등을 최종적으로 선박에 급유하기 위해 전송할 경우 일반적으로 대량의 수소를 장거리로 운송하게 되는데, 이 경우 일반적으로 수소는 액체 또는 압축된 기체 형태로 운송된다.

수소의 운송은 트레일러, 철도, 전송 파이프 등을 통해 수행되며, 선박 급유를 위해 도착한 수소는 ship to ship 방식 또는 land to ship 방식으로 병커링이 이루어진다.⁸⁰⁾

80) 2050 수소 전망 예측, DNV, 2022, pp 56~57 토대로 정리·작성

2. 수소 벙커링 구축 동향

본 연구의 조사결과 전술한 수소 추진선의 개발이 초보 단계라면 수소 벙커링 인프라 구축은 수소 추진선 보다도 더욱 개발이 더딘 단계로 조사되었다.

1) 해외 수소 벙커링 구축 동향

(1) 노르웨이

노르웨이 선주사인 Wilhelmsen은 2020년부터 자국 육상·항만 인근에 액화수소 벙커링 플랫폼 건설을 추진 중에 있다. 수소 연료의 화물창 기술 개발을 추진 중에 있으며, 약 1,200톤의 수소를 저장해 놓을 수 있는 규모의 수소 저장 시설들을 자국 전역에 건설·배치하고 있다. 이를 위해 노르웨이 해양수산청, 대학 및 연구소 등이 컨소시움을 구성해 참여하고 있으나 아직 실질적인 성과는 발표되지 않았다.⁸¹⁾

(2) 일본

가와사키중공업은 2014년에 2,500m³ 규모의 수소 저장 및 벙커링 시스템을 개발하고 이를 일본선급(Nippon Kaiji Kyokai)으로부터 인증을 받았다. 향후 선박용 수소 보급이 확대되면 개발된 수소 저장 및 벙커링 시스템을 주요 자국 항만에 연계할 계획을 가지고 있다.⁸²⁾

2016년 가와사키중공업, 이와타니산업, 셀 재팬 등을 합동으로 수소 벙커링 체인 구축을 목표로 기술연구조합 형태의 HySTR를 설립하였으며, 이 단체는 2019년 선 수요 확대, 후 공급 확충이라는 기치를 주창하는 ‘단계적 수소전략’을 발표하였다. 단계적 수소전략에 따르면 2030년까지 수

81) 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. p 33 토대로 정리·작성

82) 전게서, 2021, 7. p 36 토대로 정리·작성

요 확대를 도모함과 동시에 수소 운반 트레일러 80만대와 주요 육상·항만 거점에 병커링 충전기 900기를 설치할 계획이다. 2030년부터 2040년까지는 수소차 및 충전기 규모를 확대하고 2040년부터는 수소 추진선 등을 활용해 해운·항만이 이산화탄소 등 환경오염물질 배출을 전혀 하지 않는 제로 에미션(zero emission)까지 도달하는 것을 목표로 한다.⁸³⁾

아울러 일본은 ship-to-ship 병커링 기술을 활용한 대규모 수소 병커링 실증사업을 추진하고 있다. 국토교통성이 참여하는 ‘Hydrogen carrier’ 프로젝트를 실시하고 무게 8,000톤, 속도 13노트, 높이 116m, 폭 20m 제원의 세계 최초 액화 수소 병커링 선박(1,250m³)을 2021년에 건조하고 2021년 3월부터 호주에서 생산된 수소를 일본으로 운송하고 있다.⁸⁴⁾

2) 우리나라 수소 병커링 구축 동향

2021년 3월 현대중공업은 ‘수소 드림 2030 로드맵’을 공표하고 한국조선해양, 현대오일뱅크, 삼성중공업과 협업하여 2030년까지 육상과 해상에서 수소의 운송·저장·생산·활용의 전 과정을 아우르는 수소 밸류 체인(value chain)을 구축할 계획을 발표하였다.

수소 드림 2030 로드맵 관련하여 현대중공업과 한국조선해양은 각각 해상에서의 수소 저장·공급을 위한 수소운반선 및 육상에서의 수소 병커링 시스템 개발을 담당할 계획이며, 현대오일뱅크는 수소 생산 과정에서 발생하는 CO₂를 포집하는 역할을 담당할 계획이다. 삼성중공업은 미국 연료전지 제조업체인 Bloom Energy와 수소 연료전지 공동개발을 담당한다.⁸⁵⁾

83) 수소선박, 특허청, 2022, 9. pp. 202~205 토대로 정리·작성

84) 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. p 36 토대로 정리·작성

85) 수소 드림 2030 로드맵, 현대중공업, 2021, 3. 토대로 정리·작성

〈표 4-4〉 우리나라 수소 벙커링 구축 동향

구분			주요 동향
수소 드림 2030 로드맵	조선소	현대중공업	• ship to ship 수소운반선 신조
		한국조선해양	• 육상 수소 벙커링 시스템 개발
		삼성중공업	• 수소 생산과정 중 발생 CO ₂ 포집
	정유사	현대오일뱅크	• 수소 연료전지 공동개발

자료: 수소 드림 2030 로드맵, 현대중공업, 2021, 3. 토대로 정리·작성

제4절 수소 선박 기술 동향

본 절에서는 수소 선박 기술 동향을 조사하였다. 본 연구는 수소 선박 관련 핵심기술들을 기술 개발 소요 기간의 관점에서 단·중·장기로 구분해 조사·소개한다.

1. 단기 핵심기술

1) 혼소엔진

수소를 추진연료로써 단독으로 사용하기보다는 선박가스오일(MGO: Marine Gas Oil)이나 LNG, LPG 등 기존 연료와 혼합하여 사용하는 경우가 있다. 다양한 추진연료를 혼합해 수소만을 추진체로 사용할 때보다 비용을 절감하면서 CO₂를 감축할 수 있다.

독일, 일본 등에서 수소-암모니아 등을 혼합한 추진연료와 호환이 되는 혼소엔진 개발이 추진 중으로 혼합연료 추진선에 대응할 수 있는 다연료 호환형 혼소엔진 개발이 가속화 되고 있다.⁸⁶⁾

2) 고체 하이브리드 연료전지

수소 연료전지는 선박이 운항하면서 발생하는 선체의 진동, 바닷물의 염분, 악천후 등 제반 해상환경에서도 원활하게 작동해야 한다. 수소 하이브리드 연료전지를 고체화하여 열관리를 용이하게 하고 무엇보다 소형화를 추진해 선내 연료전지가 차지하는 면적을 최소화 하려는 시도가 대두하고 있다.

미국 FuelCell Energy와 Plug Power, 캐나다 Ballard Power Systems, 독일 SFC Energy, 영국 Ceres Power 및 우리나라 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀, 포스코 등이 고체 하이브리드 연료전지 개발을 추진 중에 있다.⁸⁷⁾

〈표 4-5〉 수소선박 단기 핵심기술

구분	주요 동향
혼소엔진	<ul style="list-style-type: none"> 수소를 선박가스오일(MGO: Marine Gas Oil)이나 LNG, LPG 등 기존 연료와 혼합하여 사용 시의 호환엔진 독일, 일본 등에서 수소-암모니아 등을 혼합한 추진연료와 호환이 되는 혼소엔진 개발이 추진 중
고체 하이브리드 연료전지	<ul style="list-style-type: none"> 고체 하이브리드 연료전지는 열 관리 용이, 소형화 등의 장점이 있음 미국 FuelCell Energy와 Plug Power, 캐나다 Ballard Power Systems, 독일 SFC Energy, 영국 Ceres Power 및 우리나라 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀, 포스코 등이 고체 하이브리드 연료전지 개발 추진 중

자료: 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. pp. 51~54 토대로 정리·작성

2. 중기 핵심기술

86) 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. pp. 51~54 토대로 정리·작성
87) 전계서

1) 극저온(-253℃) 액화수소 연료저장시스템

액화수소 저장은 0.1~1.5MPa 수준의 압력을 가해 -250℃ 이하로 수소를 액화시켜 저장하는 방식이다. 기체 상태의 수소를 액체로 변환시키면 부피를 상당히 줄일 수 있어 액화수소 저장은 연료 소모량이 상대적으로 높은 중대형 선박에 더욱 적합하다.

액화수소 연료저장시스템의 개발은 최근 활발히 추진되고 있는데, 독일 MAN Cryo는 액화수소 연료저장시스템에 대한 다수의 특허를 출원하면서 상당한 기술력을 보유하고 있다. 동사는 2018년 말 세계 최초로 70m³ 규모의 단일 다층 시스템을 적용한 액화수소 연료저장시스템을 개발하고 DNV-GL(노르웨이-독일 선급)로부터 기본승인을 획득하였다. 일본의가와사키중공업의 경우 1,250m³ 규모의 액화수소 화물창을 개발하고 ClassNK(일본선급)로부터 기본승인을 획득하는 등 액화수소 연료저장 시스템 개발이 활성화되고 있다.⁸⁸⁾

2) 대용량 수소연료전지

대용량 수소연료전지 추진시스템 개발이 가속화 되고 있다. 전술한 수소 추진선의 경우 배터리 용량이 적어 연근해 항행 전용 선박으로 국한된 경우가 다수인데, 대용량 수소연료전지 개발 시 장시간 운항이 가능해져 외항 운항까지 가능할 것으로 기대된다.

우리나라 현대자동차는 대용량 수소연료전지인 500kW급 전지를 개발 중에 있다. 캐나다 Ballard Power System은 수소 추진선 실증프로젝트의 일환으로 외항 운항까지 가능한 규모의 대용량 수소연료전지를 개발하고 있으며, 노르웨이 Hyon AS 등도 외항선박용 대용량 전지 개발을 추진 중에 있는 등 중장기적으로 수소연료전지의 용량을 증대하는 개발이 지속될

88) 전계서

것으로 전망된다.⁸⁹⁾

〈표 4-6〉 수소선박 중기 핵심기술

구분	주요 동향
극저온 액화수소 연료저장시스템	<ul style="list-style-type: none"> 기체 상태의 수소를 액체로 변환시키면 부피를 상당히 줄일 수 있어 액화수소 저장은 연료 소모량이 상대적으로 높은 중대형 선박에 더욱 적합 독일 MAN Cryo, 일본의 가와사키중공업 등이 기본승인을 획득하는 등 액화수소 연료저장 시스템 개발 활성화
대용량 수소연료전지	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 수소연료전지 개발 시 장시간 운항이 가능해져 외항 운항까지 가능 우리나라 현대자동차, 캐나다 Ballard Power System, 노르웨이 Hyon AS 등 외항선박용 대용량 전지 개발 추진 중

자료: 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021, 7. pp. 51~54 토대로 정리·작성

3. 장기 핵심기술

1) 액화수소 병커링 기술

액화수소 급유 기술, 즉 액화수소 병커링 기술과 이와 관련된 주요 항만 거점별 인프라 구축이 필요하다. 이를 위해서는 초기에 시범사업을 실시해 병커링 인프라를 구축하고 급유시의 안전성을 검증한 이후에 추후 인프라를 늘리는 방향이 적합하다. 장기적으로는 지속적으로 액화수소 병커링 기술을 고도화하여 1만 8천 TEU 이상 급의 초대형 선박 병커링도 가능한 기술 수준까지 도달할 필요가 있다.

액화수소 병커링 기술을 세분화하면 액화수소 저장 탱크 관련 기술, 파이프라인 등을 활용한 액화수소 수송 기술, 액화수소 하역기 관련 기술, 병

89) 전계서

커링 공정 제어 시스템 설계 기술, 액화수소 열량 및 유량 계측 시스템, 수소액화 변환 기술 등의 개발·고도화가 필요하다.⁹⁰⁾

2) 혼소 가스터빈

수소가 다른 원료 대비 원재료 가격이 높아 다른 원료와 수소를 섞어 사용하는 혼소의 경우가 자주 발생할 것으로 전망된다. LNG와 수소를 7:3의 비율로 혼합해 가스터빈에 넣으면 기존 중유 급유 선박의 이산화탄소 배출량 대비 약 10.5%를 저감할 수 있고 5:5 비율 시 22.0%, 수소 100% 사용 시에는 기존 이산화탄소 배출량의 100%를 감축할 수 있다.

한편 수소 추진선이 수소 가스터빈이나 수소 연료전지를 선박 주기관으로 탑재하기보다 보조기관으로 탑재하는 경우가 더 많을 수 있다는 전망이 제기될 정도로 수소 추진선의 혼소 빈도가 높을 것으로 예상되고 있다. 다양한 혼소 연료와 호환이 되는 가스터빈 개발이 시급하며, 혼소 가스터빈 개발 및 기능 고도화는 장기적 과제가 될 것으로 판단된다.⁹¹⁾

〈표 4-7〉 수소선박 장기 핵심기술

구분	주요 동향
액화수소 병커링 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 액화수소 급유 관련 주요 항만 거점별 인프라 구축 긴요 • 액화수소 저장 탱크 관련 기술, 파이프라인 등을 활용한 액화수소 수송 기술 등의 개발·고도화 필요
혼소 가스터빈	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 추진선이 수소 가스터빈이나 수소 연료전지를 선박 주기관으로 탑재하기보다 보조기관으로 탑재하는 경우가 더 많을 정도로 혼소 빈도가 높을 것으로 예상 • 다양한 혼소 연료와 호환이 되는 가스터빈 개발이 시급

자료: 수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021. 7. pp. 51~54 토대로 정리·작성

90) 전계서

91) 전계서

05

결론 및 시사점

제1절 주요 결론

본 절에서는 본 보고서의 조사 결과를 정리·요약하였다.

1. 주요 선박 대체연료별 특성

메탄올의 물리적 특징은 증기가 공기와 잘 혼합되어 폭발성 있는 혼합체를 쉽게 형성하며, 화학적 특징은 산화제와 격렬하게 반응하고 반응 시 화재와 폭발의 위험이 존재한다.

암모니아는 질소와 수소로 이루어진 화합물로 연소 반응에서 이산화탄소가 발생하지 않아 무탄소 연료로 주목받고 있으며, 저온 유지 기술을 적용된 저압 탱크(low pressure tanker)를 사용할 수 있기 때문에 탱크 설계와 제작이 용이하다.

수소는 실온에서 무색, 무미, 무독, 무취이며, 가연성이 높은 가스로 연소 시 폭발음과 함께 무색의 불꽃을 내며 타는데 이때 산소와 수소가 융합하여 물 분자가 형성된다.

〈표 5-1〉 주요 선박 대체연료별 특성

구분	주요 특성
메탄올	<ul style="list-style-type: none"> • 증기가 공기와 잘 혼합되어 폭발성 있는 혼합체를 쉽게 형성 • 산화제와 격렬하게 반응하고 반응 시 화재와 폭발의 위험이 존재
암모니아	<ul style="list-style-type: none"> • 질소와 수소로 이루어진 화합물 • 연소 반응에서 이산화탄소가 발생하지 않는 무탄소 연료
수소	<ul style="list-style-type: none"> • 실온에서 무색, 무미, 무독, 무취이며, 가연성이 높은 가스로 연소 시 폭발음과 함께 무색의 불꽃을 내며 타 • 연소 시 산소와 수소가 융합하여 물 분자가 형성됨

자료:본 보고서의 1~4장을 토대로 KMI 정리·작성(원 출처는 1~4장에 표기)

2. 주요 선박 대체연료별 건조동향

머스크는 글로벌 선사들 가운데 가장 먼저 메탄올 추진선 발주에 나섰는데 2021년 7월 현대미포조선에 2,100TEU 메탄올 추진선(컨테이너선) 발주를 시작으로, 총 19척의 메탄올 추진선을 발주한 상태이다. 머스크 외에도 주요 국내외 선사들이 메탄올 추진선을 발주하였다.

중국 최대 조선소그룹 CSSC와 일본 NSY 등에서 암모니아 추진선박을 개발하고 있으며, 국내 조선 3사도 암모니아 추진 탱커, 컨테이너선의 개발을 하는 등 암모니아 추진 선박 개발이 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 2024~2025년 엔진 개발, 2026~2027년 경 상용화되어 2035년 이후에는 암모니아 연료 추진선이 LNG 연료 추진선을 대체하는 주력 선박이 될 것으로 전망되고 있다.

수소 추진선 건조는 현재 초기 개발 단계로 수소 고유의 물리적 특성으로 인해 기술 난이도가 높다. 미국, 노르웨이, 독일 등에서 수소전지를 탑재한 선박을 개발 및 실증 운항하였으며, 우리나라 조선업체 등은 경북·울산·강원 3곳의 규제자유특구에서 수소 친환경선박을 연구·개발하고 있다.

2026년까지 국가스마트시범도시(부산시 에코델타 스마트시티)에 수소 추진선 2척을 공급한다는 계획이다.

〈표 5-2〉 주요 선박 대체연료별 건조동향

구분	주요 특성
메탄올	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년 7월 머스크 2,100TEU 메탄올 추진선 발주 등 총 19척의 메탄올 추진선 발주 • CMA-CGM, COSCO Shipping, HMM 등 주요 국내외 선사들도 메탄올 추진선 발주
암모니아	<ul style="list-style-type: none"> • 중국 최대 조선소그룹 CSSC와 일본 NSY 등에서 암모니아 추진선박을 개발 • 국내 조선 3사도 암모니아 추진 탱커, 컨테이너선의 개발을 하는 등 암모니아 추진 선박 개발이 국내·외에서 활발히 진행
수소	<ul style="list-style-type: none"> • 미국, 노르웨이, 독일 등에서 수소전지를 탑재한 선박을 개발 및 실증 운항 • 경북·울산·강원 3곳의 규제자유특구에서 수소 친환경선박을 연구·개발하고 있으며, 2026년까지 국가스마트시범도시(부산시 에코델타 스마트시티)에 수소 추진선 2척 공급 계획

자료:본 보고서의 1~4장을 토대로 KMI 정리·작성(원 출처는 1~4장에 표기)

3. 주요 선박 대체연료별 벙커링 구축 동향

머스크(Maersk)는 메탄올 추진선 발주와 병행해서 자사 선박에 대한 그린 메탄올의 원활한 공급을 위하여 e-메탄올/bio-메탄올 생산업체들과 공급 의향서(LOI)를 체결하는 파트너십을 구축한 결과 2025년까지 연간 93~103만톤 확보를 예상하고 있다. 국적선사인 HMM은 2023년 2월에 메탄올 연료의 안정적 수급을 위해서 Proman, PTTEP, European Energy, 현대코퍼레이션 등 국내외 5개사와 메탄올 생산 및 공급에 대한 양해각서(MOU)를 체결했다는 사실을 함께 공표했다.

싱가포르, 네덜란드, 노르웨이, 호주 등 다양한 국가에서 신규 그린 암모니아 터미널 및 공급 인프라 개발 프로젝트를 적극적으로 추진하고 있으며

관련 산업 또한 급속도로 성장하고 있다. 최근에는 일본 자원개발 기업인 인펙스 코퍼레이션(INPEX Corporation)이 상업용 선박에 암모니아 연료를 공급할 수 있는 암모니아 병커링 선박의 개념 연구를 완료했다고 밝힌 바 있다.

노르웨이 선주사인 Wilhelmsen은 2020년부터 자국 육상·항만 인근에 액화수소 병커링 플랫폼 건설을 추진 중에 있다. 일본의 단계적 수소전략에 따르면 2030년까지 수요 확대를 도모함과 동시에 수소 운반 트레일러 80만대와 주요 육상·항만 거점에 병커링 충전기 900기를 설치할 계획이다. 2021년 3월 현대중공업은 ‘수소 드림 2030 로드맵’을 공표하고 한국 조선해양, 현대오일뱅크, 삼성중공업과 협업하여 2030년까지 육상과 해상에서 수소의 운송·저장·생산·활용의 전 과정을 아우르는 수소 밸류 체인(value chain)을 구축할 계획을 발표하였다.

〈표 5-3〉 주요 선박 대체연료별 병커링 구축 동향

구분	주요 특성
메탄올	<ul style="list-style-type: none"> • 머스크(Maersk)는 메탄올 추진선 발주와 병행해서 자사 선박에 대한 그린 메탄올의 원활한 공급을 위하여 2025년까지 연간 93~103만톤 확보 예상 • HMM은 2023년 2월에 메탄올 생산 및 공급에 대한 양해각서를 체결
암모니아	<ul style="list-style-type: none"> • 싱가포르, 네덜란드, 노르웨이, 호주 등 다양한 국가에서 신규 그린 암모니아 터미널 및 공급 인프라 개발 프로젝트를 적극적으로 추진 • 일본은 상업용 선박에 암모니아 연료를 공급할 수 있는 암모니아 병커링 선박의 개념 연구를 완료
수소	<ul style="list-style-type: none"> • 노르웨이 선주사인 Wilhelmsen은 2020년부터 자국 육상·항만 인근에 액화수소 병커링 플랫폼 건설을 추진 중 • 우리나라는 2030년까지 수소의 운송·저장·생산·활용의 전 과정을 아우르는 수소 밸류 체인(value chain) 구축 추진

자료:본 보고서의 1~4장을 토대로 KMI 정리·작성(원 출처는 1~4장에 표기)

4. 주요 선박 대체연료별 선박기술 동향

상온에서 액체 상태이기 때문에 LNG처럼 고압과 극저온을 견디는 탱크가 필요하지 않으며 일반 탱크를 조금만 개조하면 얼마든지 메탄올을 연료로 이용할 수 있다. 메탄올 선박 기술은 연료 탱크, 연료공급시스템, 메탄올 엔진 등이 개발되고 있다.

암모니아의 해상연료로서의 가능성을 기반으로 하여 조선업체가 필두로 글로벌 조선, 선박용 엔진 제조사 등과 암모니아 추진선과 엔진 개발을 추진하고 있다. 그러나 암모니아가 선박 연료로 최초로 적용되는 상황에서 선박 관련 기본 인증은 대부분 선박 설계에 관한 것으로 암모니아 연료 기관과 관련한 선박 기술 개발은 아직 초기 단계에 있는 것으로 파악된다.

수소선박 관련 선박기술 동향을 살펴 보면 단기 기술로 혼소엔진, 고체 하이브리드 연료전지 등이 개발되고 있으며, 중기 기술로 극저온 액화수소 연료저장시스템, 대용량 수소연료전지 등이 개발되고 있다. 장기 기술로는 액화수소 벙커링 기술, 혼소 가스터빈 등이 개발 추진 중에 있다.

〈표 5-4〉 주요 선박 대체연료별 선박기술 동향

구분	주요 특성
메탄올	<ul style="list-style-type: none"> 상온에서 액체 상태이기 때문에 LNG처럼 고압과 극저온을 견디는 탱크가 필요하지 않음 메탄올 선박 기술은 연료 탱크, 연료공급시스템, 메탄올 엔진 등이 개발되고 있음
암모니아	<ul style="list-style-type: none"> 조선업체가 필두로 글로벌 조선, 선박용 엔진 제조사 등과 암모니아 추진선과 엔진 개발을 추진 중 기본 인증은 대부분 선박 설계에 관한 것으로 암모니아 연료 기관과 관련한 선박 기술 개발은 아직 초기 단계
수소	<ul style="list-style-type: none"> 단기 기술로 혼소엔진, 고체 하이브리드 연료전지 등이 개발되고 있으며, 중기 기술로 극저온 액화수소 연료저장시스템, 대용량 수소연료전지 등이 개발 장기 기술로는 액화수소 벙커링 기술, 혼소 가스터빈 등이 개발 추진 중에 있음

자료:본 보고서의 1~4장을 토대로 KMI 정리·작성(원 출처는 1~4장에 표기)

제2절 시사점

본 연구에서는 선박 대체연료 가운데 최근 주목을 받고 있는 메탄올, 암모니아, 수소 3가지 연료들에 대하여 물리적 특성을 포함해서 선박 건조 현황, 병커링 현황, 엔진 및 연료공급장치 등을 포함한 기술개발 현황에 대하여 살펴보았다. 현재 선박 연료들 가운데 LNG, 메탄올, 암모니아, 수소 등이 핵심 선박연료 자리를 두고 각축하는 현상은 향후 몇 년간 지속될 가능성이 높다. 장기적으로 수소 연료가 대세로 자리잡을 가능성이 높지만 그 시점까지 선박연료 시장은 병커유를 제외한 LNG, 메탄올, 암모니아가 서로 각축을 벌이면서 함께 공존해 나갈 것으로 전망된다.

이런 이유로 선사들은 미래 선박연료 선택과 신조 발주에 큰 어려움을 겪을 것으로 예상된다. 어떤 연료를 사용하는 선박이 선사 입장에서 가장 유리한 선택이 될 것인가를 알 수 없으므로 선박연료 선택에 따른 리스크는 더욱더 올라갈 가능성이 높다.. 본 연구의 결과가 선사들의 미래 선박연료 선택에 조금이나마 도움이 되기를 희망하는 부분이다.

하지만 본 연구에는 연료별 병커링 공급업체 현황과 국가별 인프라 구축 현황 등이 상세하게 제시되지 않았으며 글로벌 선사들의 대체연료 문제에 대한 대응 방안도 상세하게 담지 못했다. 향후 추가 연구를 통해서 본 연구에서 미진했던 부분들에 대한 자세한 현황이 파악되기를 희망한다.

참고문헌

국내 문헌

2050 수소 전망 예측, DNV, 2022.

산업안전공단, 「메탄을 취급근로자

수소 드림 2030 로드맵, 현대중공업, 2021. 3.

수소선박, 특허청, 2022. 9.

수소선박 개발 현황 및 향후 발전방안, 한국은행 경남본부, 2021. 7.

이후경·우영민·이민정(2021), 탄소중립을 위한 암모니아 연소기술의 연구개발 필요성, 한국연소학회지 제26권 제1호, pp. 84 - 106.

에너지경제연구원(2022), 최근 세계 온실가스 배출추이와 시사점

천정민(2022), 생애주기를 고려한 선박 연료유의 온실가스 배출량 평가에 관한 연구 (박사학위, 부경대학교 대학원).

탄소중립을 위한 해양그린수소 육성 전략, 산업연구원, 2022.

한국선급(2021), 암모니아 연료추진선박 보고서.

한국선급(2023), 무탄소선박연료로서 암모니아의 전망.

한국에너지기술연구원, Climate technologi brief, No. 42.

KDB산업은행 미래전략연구소 산업기술리서치센터(2021.12), 친환경선박 시장 현황 및 전망,

국외 문헌

欧州造船業・海運業等の脱炭素化の動向, 日本船舶技術研究協会, 2022,
水素燃料電池船の安全ガイドライン, 国土交通省, 2021, 8.
船舶分野における燃料電池システムの展開, 海上技術安全研究所, 2020,
IRENA (2021), A pathway to decarbonise the shipping sector by 2050, International
Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. p. 58.
Fernando Marcos. March 2022. "MAN B&W Ammonia engine". Ingenieros navales
Japanese firms working on ammonia-fueled engines, Diesel & Gas Turbine Wo
rldwide, 27 October 2021.
Japan Funds Project for Ammonia-Fueled Engine by 2024, The Maritime Executive,
26 October 2021.
S&P Global Market Intelligence, 2021
WinGD sets development time frame for methanol and ammonia engines, WinGD,
Press release, 23, November 2021.

인터넷 자료

가스신문(2022.08.26.), 에너지기술연구원, 제2회 그린 암모니아 국제컨퍼런스 개최
<http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=106488>(검색일:
2022.12.18.)
네이버 화학백과, <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5662920&cid=62802&categoryId=62802>(검색일:2022.11.23.)
더그루글로벌(2022.07.06.), 中, 韓 제치고 '친환경 선박' 암모니아 시장 기선제압, <http://www.theguru.co.kr/news/article.html?no=38122>, (검색일:2022.12.18.)
더그루글로벌(2022.06.11.), '현대삼호중공업 건조' LNG선, 싱가포르 EPS 품에, <http://www.theguru.co.kr/news/article.html?no=38122>

- s://www.theguru.co.kr/news/article.html?no=36595,(검색일:2022.12.18.)
- 더그루글로벌(2022.06.15.), 현대중공업, 암모니아 추진선 기술 확보 총력…스위스 WinGD와 맞손, <https://www.theguru.co.kr/news/article.html?no=37005>, (검색일:2022.12.18.)
- 더퍼블릭(2021.06.11.), STX엔진, 친환경 선박 엔진·기자재 국산화 도전<https://www.thepublic.kr/news/view/1065596355445749>, (검색일:2022.12.18.)
- 머니투데이(2021.10.16.)日, 한국에 "선박 만들어달라"…'암모니아 레디'선 발주 이유는 <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2021101517130276704>, (검색일:2022.12.18.)
- 머니투데이(2022.04.08.).수소 시대 징검다리 될 '암모니아·메탄올' 추진선이 온다, <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022040715381383294>, (검색일:2022.12.18.)
- 머니투데이(2022.02.28.), 韓조선업의 빅 사이클, <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022022513425051664>, (검색일:2022.12.18.)
- 아시아경제(2020.01.07.), STX엔진, 미세먼지 없는 친환경 엔진 개발…국내 최초, <https://view.asiae.co.kr/article/2020010622115129201>, (검색일:2022.12.18.)
- 아주경제(2021.03.03.), 현대중공업그룹, 사우디 아랍코와 '수소 프로젝트' 본격 가동, <https://www.ajunews.com/view/20210303111308755>, (검색일:2022.12.18.)
- 월간수소경제(2023.02.07.), 인팩스 암모니아 선박 병커링 개념 연구 완료, <https://www.h2news.kr/news/article.html?no=10718>, (검색일:2023.02.14.)
- 전기저널(2022.05.04.), 글로벌 암모니아 시장 동향 및 암모니아 발전 관련 이슈, <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4556>, (검색일:2022.12.18.)
- 파이낸셜 뉴스(2023년 2월 14일), <https://www.fnnews.com/news/202302141856181773>(검색일:2022.02.18.)
- 조선일보(2022.06.22.), 2030년까지 '스마트 조선소' 구축… 생산성 30% 향상 기대, https://www.chosun.com/special/special_section/2022/06/23/6N6IVZA7BVDKZDX7FUEMJDCGZI/, (검색일:2022.12.18.)

조선일보(2023.02.17.), HSD엔진 인수하는 한화, 세 아들 승계 작업 차곡차곡(검색일: 2023.01.18.)

한국해운신문(2022.09.07.), WinGD-HSD엔진, 메탄올 저속엔진 개발(검색일:2023.01.18.)

한화토탈에너지스(2022.10.31.), 암모니아의 변신<https://www.chemi-in.com/730> (검색일:2022.12.18.)

해양수산부 블로그, <https://blog.naver.com/koreamof/222402216956>(검색일:2022.02.18.)

현대중공업그룹 보도자료(2021,05.13), 친환경 엔진 기술 고도화,<https://www.hyundai-engine.com/ko/Media/newsdetail/6?contentType=&keyword=>(검색일:2022.12.18.)

현대중공업 홈페이지(2022.10.18.), ‘친환경 메탄올 이중연료 힘센엔진(H32DF-LM) 개발’ (검색일:2023.01.18.)

Better together: batteries and fuel cells, <https://www.rivieramm.com/opinion/better-together-batteries-and-fuel-cells-54878>, 2019. 4. 30.

Fuel cell ferry Water Go Round finds fleet investment, <https://www.electrive.com/2019/06/13/fuel-cell-ferry-water-go-round-finds-fleet-investment/>, 2019. 6. 13.

HMM 보도자료(2023. 2. 14.), https://www.hmm21.com/cms/company/korn/introduce/prcenter/news/1212162_7823.jsp(검색일:2022.02.18.)

Ship Technology Global, https://ship.nridigital.com/ship_jan21/hydrogen_ship_emissions, 2022. 12.

Topeka, the Wilhelmsen owned zero emission shipping company, launches two carbon neutral, methanol fuelled container newbuilds, <https://www.wilhelmsen.com/>

Maersk 홈페이지, <https://www.maersk.com>

HMM 홈페이지, <https://www.hmm21.com>

Methanol Market Services Asia (MMSA)

부록

암모니아 선박 기술 동향

1. 암모니아 연료 탱크

1) 설계 특징

IGC Code⁹²⁾ 상에서는 암모니아 탱크는 타입 A, B, C, 멤브레인 타입을 사용할 수 있다고 정의되어 있으나, 실제로는 타입 A와 C가 주로 사용된다. 타입 A는 상압에서 암모니아의 액화온도까지 냉각시킨 상태로 저장하는 방식이고, 타입 C는 상온에서 증기압까지 가압하여 저장하는 방식이다. 추진 연료로 사용할 암모니아를 저장하는 연료 탱크로 타입 C 탱크를 사용하면 가압에 필요한 에너지를 절약할 수 있지만, 대량 저장에는 타입 A 탱크가 더 유리하다.

암모니아 연료 탱크 설계 시 쉽게 부식되는 구리 및 구리 합금 재질을

92) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk

사용해서는 안 되며, 철판의 설계 인장 강도는 최대 허용치를 초과해서는 안 된다. 암모니아 저장 탱크는 누출 방지를 위하여 비파괴 검사 및 후열처리도 필요하다. 암모니아 저장설비의 용접 이음 부위에 대하여 100% 비파괴 검사를 수행하고 비파괴 검사에 합격하면 용접 이음 부위에 후열처리를 실시하여야 한다.⁹³⁾

2) 배치 특성

탱크와 연료 파이프의 배치 제한은 LPG 연료에 대한 요건과 유사할 것으로 예상되며 충돌 및 좌초 시나리오에서 탱크 손상 위험을 제한하기 위해 선박 측면과 바닥으로부터 최소 거리가 설정되어야 한다. 탱크 위치는 엔진룸 및 기타 화재 위험도가 높은 공간에서 떨어져 있어야 하며 크레인 작동 또는 기타 기계적 손상 위험 영역으로부터 보호되어야 한다.

또한 개방갑판에 위치한 저장 탱크와 장비들은 배출된 가스가 축적되지 않도록 충분한 자연 통풍이 확보되는 곳에 설치되어야 한다. 이는 개방갑판에 설치된 연료탱크의 최대 증기압은 태양 복사열로 인해 상승할 수 있는 최대온도를 고려하여 설정되어야 하기 때문이다.

암모니아를 저장하는 설비의 최대허용설정압력은 1.0 MPa을 초과할 수 있으며, 연료탱크 연결부가 개방갑판 상에 있는 경우 위험도 평가를 통해 누설된 암모니아가 축적되거나 거주 구역, 기관구역 등의 비위험구역으로 확산될 가능성을 확인해야 한다. 만일 확산 가능성이 확인되면 탱크 연결부를 고립시킬 수 있는 구역을 설치하고 배기통풍 출구를 안전한 장소에 위치시켜야 한다.⁹⁴⁾

93) 한국선급(2023), p.20.

94) 한국선급(2021), 2021, p.7.

2. 연료공급시스템

1) 연료공급시스템의 구성⁹⁵⁾

(1) 연료공급장치

연료 공급장치(Fuel Supply System, FSS)는 펌프, 열교환기, 밸브, 필터 및 계기로 구성된다. MAN에서 개발 중인 암모니아 연료 추진 엔진 연료 공급장치에서는 암모니아가 펌프로 80 bar로 가압되고 열교환기를 통해 엔진에서 요구되는 온도 (25°C ~ 55°C)의 범위 내에 진입하도록 한다.

(2) 연료밸브 트레인

연료 밸브 트레인(Fuel Valve Train, FVT)은 엔진과 보조 시스템 사이의 인터페이스로, 이중 차단 및 배출밸브, 벤트밸브, 질소공급 밸브, 압력 조절밸브 및 각종 센서류 등으로 구성된다. 연료 밸브 트레인은 이상 상태 및 유지보수 중에 엔진에 연료를 안전하게 차단하고 질소를 퍼지하여 잔존 연료를 배출하여 연료공급시스템의 안전성을 보장한다.

(3) 재순환 시스템

재순환 시스템(Recirculation system)구현을 위해서는 재순환된 암모니아가 2상 조건으로 공급되지 않도록 상분리를 해야 한다. 엔진에서 리턴되는 암모니아는 엔진에서 오일 등 다른 물질에 의해 오염된 상태일 수 있기 때문에 연료 탱크로 바로 보내지 않고, 연료공급시스템 내에서 재순환된다. 재순환 시스템에서 분리된 암모니아 기체는 녀아웃 드럼으로 배출되고 녀아웃 드럼에서 안정화된 암모니아 기체가 암모니아 포집 시스템에 유입된다.

95) 한국선급(2023), pp. 20~22를 토대로 정리·작성.

(4) 질소퍼지 시스템 및 넥아웃 드럼

이중 연료 작동 후 엔진 퍼지, 유지 관리 전 연료 배출 및 유지 관리 후 기밀성 테스트를 위해 질소를 공급해주는 질소퍼지 시스템(N2 purge system)이 필요하다. 질소 퍼지 시스템에서 질소는 서비스 탱크의 압력보다 높은 압력에서 시스템 내의 잔존 물질을 모두 배출할 수 있을 만큼 충분한 크기를 확보해야 한다. 넥아웃 드럼(Knock-out drum)은 암모니아 누출이나 섰다운 상황에서 암모니아가 액체 상태로 배출되는 것을 방지하는 역할을 한다.

(5) 암모니아 포집 시스템

암모니아는 강한 유독성과 부식성을 가지고 있으므로, 연료공급시스템에서 배출되는 암모니아는 반드시 포집되어야 한다. 암모니아가 물에 잘 흡수되는 특성을 이용하여 암모니아 포집 시스템에 적용할 수 있다. 흡수 방식은 스크러버에서 스프레이 형식으로 물을 뿌리거나 물탱크에 배출 가스를 분사하여 직접 용해시킬 수 있고, 활성탄을 이용한 흡착도 가능하다.

2) 암모니아 연료공급시스템의 작동 원리

엔진이 암모니아 이중연료로 작동 중이 아닐 때는 연료 밸브 트레인을 통해 엔진과 연료공급시스템을 감압하고, 공급 및 리턴 시스템과 엔진룸을 완전히 차단한다. 엔진을 암모니아 연료로 작동하기 직전에는 시스템의 가스 누출 여부를 확인하기 위해 질소로 가압하여 시스템의 기밀성을 확인한다.

이중연료 작동 중에는 공급 및 리턴 라인의 밸브는 열리고 벤트 라인의 밸브는 닫힌 채로 작동한다. 엔진에 공급되는 암모니아 연료가 연료 공급

시스템을 통해 저장 탱크에서 공급한다. 엔진에서 필요한 연료 조건을 유지하기 위해 암모니아 연료의 일부분이 재순환 시스템을 통해 지속적으로 재순환된다.

이중 연료 작동이 정지되면 고압의 질소가 엔진의 암모니아 연료를 재순환 시스템으로 밀어낸다. 이중연료 작동 중 엔진룸 내 이중 간 파이프의 환기 시스템은 암모니아 연료 누출을 감지하여 엔진룸에서 별도의 암모니아 포집 시스템으로 유도한다. 퍼지 운전이 완료되면 연료 밸브 트레인에 서 공급 및 리턴 라인의 밸브가 닫히면서 다시 엔진룸을 공급 및 리턴 시스템과 차단한다. 완전히 차단되면 벤트 라인의 밸브가 열리면서 엔진 시스템을 감압한다.

암모니아 누출이나 비상 상황에서 섰다운 상황이 발생하면 암모니아 연료공급시스템 내에 있는 암모니아가 빠르게 배출되어야 한다. 따라서 암모니아 포집 시스템 설계 시 가장 많은 유량의 암모니아를 포집해야 하는 상황을 기준으로 암모니아 포집 시스템 용량을 설계해야 한다.⁹⁶⁾

96) 한국선급(2023), pp. 23를 토대로 정리·작성.

일반사업 2022-10-03

선박 대체연료 기술 개발 동향 조사

인쇄 2023년 2월 26일

발행 2023년 2월 28일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

비매품