

글로벌 선사의 미래 친환경 선박연료 공급망 확보 전략 조사

전서연



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	전서연
내부연구진	연구책임자 전서연 한국해양수산개발원 해운연구본부 전문연구원

연구기간	2023. 1. 1. ~ 2024. 2. 29.
------	----------------------------

보고서 집필내역

연구자	전서연 연구총괄, 제1장~제5장
-----	-------------------

목차

01	서론_1	
	제1절 조사의 배경 및 목적	1
	1. 조사의 배경 및 필요성	1
	2. 조사의 목적	2
	제2절 조사의 내용 및 방법	3
02	친환경 선박연료 동향_5	
	제1절 친환경 선박연료 개발 동향	5
	1. 친환경 선박연료의 개념	5
	2. 친환경 선박연료 종류	7
	제2절 친환경 선박연료 시장 동향	15
	1. 친환경 선박 동향	15
	2. 친환경 선박연료 시장	17
03	친환경 선박연료 수급 현황 및 전망_25	
	제1절 친환경 연료 수요 현황 및 전망	25
	1. 바이오연료	25
	2. 메탄올	26
	3. 암모니아	27
	4. 수소	29
	제2절 친환경 연료 공급 현황 및 전망	30
	1. 바이오연료	30
	2. 메탄올	32
	3. 암모니아	34
	4. 수소	39
	제3절 시사점	41

04	글로벌 선사들의 친환경 선박연료 확보 전략 _43	
	제1절 글로벌 선사의 전략	43
	1. 머스크(Maersk)	43
	2. CMA CGM	46
	3. 에버그린(Evergreen)	48
	4. MOL	49
	제2절 해외 관련 정책 사례	53
	1. 일본의 친환경 선박 연료 정책	53
	2. 싱가포르 해사항만청의 미래 해상연료 적용 체계	55
	3. Zero-Emission Shipping Mission 로드맵	60
	제3절 시사점	62
	1. 여러 연료 옵션 고려 및 단계적인 전략 수립 필요	62
	2. 여러 이해관계자와 함께 다양화 전략 추진 필요	63
	3. 미래 친환경 선박 연료 확보를 위한 국제 협력 추진 필요	63
05	결론 및 정책 제언 _65	
	제1절 결론	65
	제2절 정책 제언	67
	1. 에너지 안보 역량 강화	67
	2. 친환경 선박 연료 민간 협력 확대	68
	3. 친환경 선박 연료 공급망 구축을 위한 국제협력 확대	69
	참고문헌 _71	

표 목차

〈표 2-1〉 친환경 선박연료 정의	7
〈표 2-2〉 해운 분야 무탄소 선박 연료 옵션	8
〈표 2-3〉 해운 분야 친환경 연료별 비중 전망	8
〈표 2-4〉 바이오연료 종류	9
〈표 2-5〉 메탄올 종류	10
〈표 2-6〉 수소 종류	12
〈표 2-7〉 수소 종류	13
〈표 2-8〉 주요 글로벌 선사들의 그린 메탄올 추진 선박 발주 현황	16
〈표 2-9〉 친환경 선박 연료 준비도	18
〈표 3-1〉 세계 암모니아 선박 연료 수요 전망	28
〈표 3-2〉 그린 암모니아 생산 시설(commercial plant)	36
〈표 4-1〉 머스크 친환경 선박연료 확보 전략	45
〈표 4-2〉 CMA CGM 친환경 선박연료 확보 전략	47
〈표 4-3〉 에버그린 친환경 선박연료 확보 전략	49
〈표 4-4〉 MOL 친환경 선박연료 확보 전략	52
〈표 4-5〉 MOL 친환경 선박연료 확보 전략	57
〈표 4-6〉 Zero-Emission Shipping Mission 회원	60

그림 목차

〈그림 2-1〉 연료별 컨테이너선 총 소유 비용	17
〈그림 2-2〉 선박 연료별 생산 가격 전망	19
〈그림 2-3〉 그린 암모니아 시장 규모	21
〈그림 2-4〉 주요 암모니아 무역 거래 현황	22
〈그림 2-5〉 글로벌 수소 시장 규모	23
〈그림 3-1〉 바이오연료 수요 전망(2021~2026)	26
〈그림 3-2〉 저탄소 메탄올 벙커 수요	27
〈그림 3-3〉 암모니아 수요 전망	29
〈그림 3-4〉 바이오연료 주요 생산 국가	30
〈그림 3-5〉 기술 및 유형별 바이오연료 생산 전망	31
〈그림 3-6〉 그린 메탄올 생산 플랜트	32
〈그림 3-7〉 그린 메탄올 생산량 전망	33
〈그림 3-8〉 2020년 지역별 암모니아 생산능력	34
〈그림 3-9〉 암모니아 해상운송 인프라	35
〈그림 3-10〉 수소 프로젝트 현황	40
〈그림 4-1〉 MOL의 연료별 선대 구성	50
〈그림 4-2〉 일본의 암모니아 연료 로드맵	54
〈그림 4-3〉 싱가포르 해사항만청의 미래 해상연료 적용 체계	56

01

서론

제1절 조사의 배경 및 목적

1. 조사의 배경 및 필요성

국제 해운 분야는 2050 넷제로 목표를 선언했으며, 이러한 온실가스 감축 목표는 친환경 선박 연료 도입 없이는 달성하기 어렵다. 그동안 선사들은 환경규제에 대응하기 위해 LNG를 선박 연료로 사용했으나 탄소배출 규제가 강화되면서 메탄올, 수소, 암모니아 등 무탄소 연료를 고려하기 시작했다. 머스크는 2022년에 16,000TEU급 메탄올 추진 컨테이너선 12척을, CMG CGM은 15,000TEU급 메탄올 추진 컨테이너선 6척을 발주했다. HMM은 바이오 중유 개발을 추진했으며 2021년 12월 13,000TEU급 바이오 중유 추진 컨테이너선 실증에 성공했다.

선사들이 친환경 선박 연료 채택 시 고려해야 할 사항은 연소 단계의 추진 기술과 연료생산·공급 단계에서의 인프라가 있다. 또한 연료 공급은 연료의 생산 지역에서부터 선박까지 공급하는 단계를 말하며 항만과 병커링 선박 등의 인프라가 필요하다. 이때 인프라는 친환경 연료의 가격과 수급을 결정하는 요소로서 친환경 연료 채택에 핵심이 된다.¹⁾

글로벌 선사들은 친환경 연료 추진 선박 발주와 함께 친환경 선박 연료 공급망 확보 전략을 추진하고 있다. 머스크는 2022년 4월에 스페인 정부로부터 연간 200만 톤 규모의 그린 메탄올을 공급받는 계약을 체결한 바 있으며 다수 기업과 전략적 제휴를 맺어 2025년까지 연간 73만 톤의 메탄올을 확보했다. 또한 일본은 해외자원 활용과 자국 내 그린수소 생산 역량을 강화하고 있다. 우리나라에서는 친환경 선박 연료 공급망 관련 컨소시엄과 얼라이언스 등이 구성되었다. 2021년 5월에는 HMM, 포스코, 롯데정밀화학, 롯데글로벌로지스, 한국선급, 한국조선해양 등 6개 기업이 참여해 친환경 선박·해운시장 선도를 위한 그린 암모니아 해상운송·병커링 컨소시엄 업무협약을 체결했다, 또한 2022년 10월에는 산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부를 중심으로 민·관 합동 친환경 바이오연료 활성화 얼라이언스가 출범했다. 동 얼라이언스의 주요 역할은 부처 간 정책 조율 및 공동 추진 기구 역할 수행, 생산·수요업체 간 안정적 공급망 구축, 정부·업계 간 소통채널 등이다. 이처럼 친환경 선박 연료 공급망에 대한 중요성이 확대되고 있는 상황에서 글로벌 선사의 친환경 선박연료 공급망 확보 전략 조사와 분석이 필요하다.

2. 조사의 목적

현재 친환경 선박 연료와 관련된 자료는 다수 존재하나 각 글로벌 선사의 공급망 확보 전략 및 해외 사례를 정리한 자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 보고서는 글로벌 선사의 친환경 선박 연료 공급망 확보 전략을 조사 및 분석하고자 한다. 이를 통해 국내 친환경 선박 연료 공급망 확보에 필요한 시사점을 도출하는 것이 목적이다. 또한, 국내 친환경 선박 연료 공급망 확보 정책 수립 및 관련 연구 추진 시 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하

1) 한동진(2023), p.35.

고자 한다.

제2절 조사의 내용 및 방법

본 보고서는 국내 친환경 선박 연료 공급망 확보에 필요한 시사점을 도출하기 위해 다음과 같은 내용을 조사한다.

제2장에서는 친환경 선박연료 동향을 분석한다. 친환경 선박연료의 개념을 정리하고 이를 바탕으로 친환경 연료의 종류별 특징을 살펴본다. 또한, 친환경 선박연료 시장 동향을 파악한다.

제3장에서는 친환경 선박연료 수급 현황 및 전망을 조사한다. 친환경 선박연료 옵션으로 대표되는 바이오연료, 메탄올, 암모니아, 수소 에너지를 중심으로 전반적인 수급 현황 및 전망을 조사한다.

제4장에서는 글로벌 선사의 친환경 선박연료 공급망 확보 전략을 분석한다. 선사의 전략뿐만 아니라 해외 관련 정책 사례도 같이 분석하여 시사점을 도출한다.

마지막 제5장에서는 앞서 조사한 내용을 바탕으로 결론 도출 및 정책 제언을 한다.

조사 방법은 문헌 연구와 사례조사이다. 먼저 친환경 선박 연료의 개념을 정리하기 위해 선행 연구를 살펴보고 관련 동향을 파악하기 위해 다양한 문헌자료를 활용할 것이다. 또한 주요 글로벌 선사들의 친환경 연료 확보 전략과 관련 해외 정책 사례 등을 조사할 것이다.

02

친환경 선박연료 동향

제1절 친환경 선박연료 개발 동향

1. 친환경 선박연료의 개념

기존의 선박연료는 황함유량에 따라 고유황유(High Sulfur Fuel Oil, HSFO)와 저유황유로 구분되며 저유황유는 다시 저유황유(Low Sulfur Fuel Oil, LSFO), 선박용 경유(Marine Gas Oil, MGO), 저유황중질유(Low Sulfur Marine Gas Oil, LSMGO) 등으로 나뉜다. HSFO의 황함유량은 최대 3.5%이며, LSFO의 황함유량은 최대 1.0%이다. MGO와 LSMGO 등의 황함유량은 0.5% 미만이다. 저유황유는 2020년 1월 1일부터 시행된 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)의 선박연료유에 대한 황산화물 규제로 인해 사용되었다.²⁾

친환경 선박연료의 개념은 IMO의 '선박 온실가스 감축을 위한 초기 전략'에서 찾을 수 있다. IMO는 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 대체연료 및 에너지원의 도입이 필수적이라고 밝혔다. 2018년에 마련된 온실가

2) IMO 2020이라 일컫는 동 규제는 전 세계 해역에서 운항되는 선박을 대상으로 황함유량을 3.5%에서 0.5%로 제한하고 있음

스 감축 초기전략에서는 단기('18~'23년), 중기('23~'30년), 장기('30년 이후) 조치 시행 계획이 수립됐는데, 이때 중기 조치로서 대체 저탄소 및 무탄소 연료 프로그램과 장기 조치로서 무탄소·비화석 연료 공급을 명시하였다.³⁾ 또한 MEPC 80차 회의에서는 2030년까지 국제해운 에너지 총량의 최소 5%를 Zero 또는 Near-Zero 연료로 전환한다는 목표를 추가했다.⁴⁾ 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 친환경 연료를 화석연료가 아닌 탄소배출이 적은 연료라고 정의한 바 있으며 해운분야 탄소 배출 제로 달성을 위해서는 바이오연료, 메탄올, 수소, 암모니아, 전기를 포함한 저탄소 및 무탄소 대체 연료 보급이 증가해야한다고 밝혔다⁵⁾⁶⁾

국내에서는 환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙 제3조에서 환경친화적인 에너지에 대한 정의를 내리고 있다. 이 규칙에서는 “액화천연가스 등 공동부령으로 정하는 환경친화적인 에너지”에 해당하는 에너지로서 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG), 메탄올, 수소, 암모니아, 그 밖에 산업통상자원부 및 해양수산부 장관이 깨끗한 해양 환경 조성을 위해 필요하다고 인정하는 에너지 등을 명시하였다.⁷⁾

지금까지의 논의를 토대로 본 보고서에서는 친환경 선박연료를 기존의 선박연료보다 탄소 함유량이 낮은 저탄소·무탄소 연료라고 정의한다.

3) IMO(2018), pp.8-9.

4) 최유광(2023), p.8

5) 임의순(2023), p.56.

6) IEA 홈페이지(검색일: 2024.1.16.)

7) 「환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙」 제3조

〈표 2-1〉 친환경 선박연료 정의

구분	내용
IMO	• 저탄소 및 무탄소 연료, 비화석 연료
IEA	• 화석연료가 아닌 탄소배출이 적은 연료
한국	• “액화천연가스 등 공동부령으로 정하는 환경친화적인 에너지”에 해당하는 에너지로서 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG), 메탄올, 수소, 암모니아, 그 밖에 산업통상자원부 및 해양수산부자관이 깨끗한 해양호나경조성을 위해 필요하다고 인정하는 에너지 등
본 보고서	• 기존의 선박연료보다 탄소 함유량이 낮은 저탄소·무탄소 연료

자료: 저자 정리

2. 친환경 선박연료 종류

여러 친환경 선박연료 가운데 가까운 미래에 사용될 가능성이 높은 연료는 바이오연료와 메탄올이 주로 언급되고 있으며 이와 더불어 중장기적인 연료로서 암모니아, 수소 등이 논의되고 있다. 이 가운데 월드뱅크(World Bank)는 친환경 선박 연료 옵션을 크게 바이오연료, 수소 및 암모니아 연료, 합성 탄소 기반 연료 등 세 가지로 구분했다. 여기에서 바이오연료는 바이오매스에서 추출된 액화 바이오메탄과 바이오메탄올 및 바이오 에탄올을 포함하고 수소 및 암모니아 연료는 비생물학적 재생가능 전기에서 추출한 그린수소와 그린 암모니아 및 천연가스에서 추출한 블루 수소와 블루 암모니아를 포함한다. 그리고 합성 탄소 기반 연료는 알콜 합성을 위해 수소화 한 그린 액화 합성 메탄, 그린 합성 메탄올, 블루 합성 메탄올 등을 말한다.

〈표 2-2〉 해운 분야 무탄소 선박 연료 옵션

구분	바이오연료	수소 및 암모니아	합성 탄소 기반 연료
메탄	액화 바이오메탄	-	그린 액화 합성 메탄
에탄올	바이오에탄올	-	-
메탄올	바이오메탄올	-	그린 합성 메탄올, 블루 합성 메탄올
수소	-	그린 수소, 블루 수소	-
암모니아	-	그린 암모니아, 블루 암모니아	-

자료: World Bank(2023), p.4.

IEA의 Net Zero Emission 시나리오에서는 바이오연료, 수소, 암모니아와 같은 저탄소 연료를 통해 효과적으로 탄소배출을 저감할 수 있으며 특히 암모니아는 장거리 수송에 있어 중요한 연료로 전망하고 있다. 그리고 바이오연료는 2050년 총 선박 연료 수요의 약 20%를 차지하는 반면에 전기는 장거리 운송에 적합하지 않아 활용도가 미미할 것으로 예상했다. 또한 2050년에는 암모니아와 수소가 주요 저탄소 선박연료로 활용될 것이라고 전망했다.

〈표 2-3〉 해운 분야 친환경 연료별 비중 전망

구분	2020년	2030년	2050년
암모니아	0%	8%	46%
수소	0%	2%	17%
바이오에너지	0%	7%	21%

자료: IEA(2021), p.138.

1) 바이오연료

바이오연료는 바이오매스에서 직접 또는 간접적으로 생산된 원료에서 추출된 친환경 연료이며 자연에서 지속적으로 생산 가능하다. 그리고 이산화탄소 소비 및 발생 형태로 순환하여 탄소 중립 실현에 도움을 주기 때문에 주요 국가에서는 바이오연료를 장기적인 탄소 중립 달성을 위한 즉각적인 옵션으로 보고 있다. 바이오연료의 종류는 바이오 메탄올, 바이오 에탄올, 바이오 디젤, 바이오 가스, 고형 연료 등이 있으며 선박 연료의 경우 기존 연료에 바이오연료 등을 혼합한 연료를 활용하기도 한다.

〈표 2-4〉 바이오연료 종류

구분	내용
바이오 메탄올	• 바이오매스의 가스화 반응을 이용해 생산하며 가솔린 대체 가능
바이오 에탄올	• 탄수화물의 분해 및 발효로 생산하며 가솔린 및 MTBE 대체 가능
바이오 디젤	• 동식물성 오일, 폐식용유 등의 에스테르화 반응으로 생산하며 디젤유 대체 가능
바이오 가스	• 미생물의 혐기성 발효로 생산되며 메탄가스가 주성분으로 가스 터빈 등에 이용
고형 연료	• 지적 연소시켜 열과 전력을 생산하며 소각용, 폐기물, 펄프 목재, 왕겨 탄 등이 대표적인 예임

자료: 김경연(2001), p.23.

바이오연료는 저장과 운반에 있어 장점을 갖고 있다. 화석연료와 에너지 효율 및 밀도가 거의 동일하기 때문에 선박의 연료 계통장치 및 연료탱크 등을 기존 그대로 유지하여 사용할 수 있다. 그러나 바이오 매스를 원료로 하는 바이오 디젤과 바이오 가스는 대규모 설비가 요구되며 소비량 확대 시 식량 수요와 경쟁이 발생한다. 또한 원료 생산량을 증대시키기가 어렵다.⁸⁾

2) 메탄올

메탄올은 다른 연료에 비해 탄소 함량이 낮고 수소(H₂) 함량이 높으며 기존 선박연료(HFO) 대비 황산화물 및 NO_x 배출량을 최대 60% 감소시키고 미립자 물질 배출량도 95% 감소시킨다. 현재 대부분의 메탄올은 석탄이나 천연가스에서 생산되나 농업폐기물, 바이오매스, 도시 고형 폐기물의 가스화를 통해서도 생산이 가능하다.⁹⁾ 생산 방법에 따라 메탄올은 그레이 메탄올, 블루 메탄올, 그린 메탄올로 구분할 수 있다. 그레이 메탄올은 화석 연료를 통해 생산한 것을 말하며 블루 메탄올은 화석 연료를 통해 생산하지만 탄소 포집 및 저장(CCS)을 활용해 전체 CO₂ 배출량을 감축한 것을 의미한다. 그린 메탄올은 Re-메탄올, 바이오 메탄올, e-메탄올 등이 있으며 지속가능한 전기, 농업 폐기물, 그린 수소 등에서 추출된다.

〈표 2-5〉 메탄올 종류

구분	다른 명칭	내용
그레이 메탄올	-	대개 화석 연료를 원료로 사용하며 통제되지 않은 CO₂ 배출함. 일반적으로 합성가스를 생산하는 데 사용된 후 Fischer-Tropsch 공정을 사용해 메탄올로 만드는 천연가스의 사용을 의미함
블루 메탄올	ng-메탄올	화석 연료(주로 석탄 또는 가스)에서 생산되지만 탄소 포집 및 저장(CCS)을 활용해 전체 CO₂ 배출량을 감축함
그린 메탄올	Re-메탄올, 바이오 메탄올, e-메탄올	- 지속가능한 전기(주로 풍력 또는 태양광)에서 생산되며 가능한 가장 낮은 CO₂를 배출함 - 친환경으로 간주하려면 바이오매스나 직접공기포획(DAC) 기술을 사용해 생산되어야 함. 재생산 가능한 메탄올을 생산하는 가장 일반적인 방법은 수소(물 전기 분해로 생성)와 CO₂(DAC에서 생성)를 사용하고 이를 메탄

8) 송동근(2021), p.12.

9) IRENA(2021), p.57

		을 합성을 통해 결합하는 것임 • 바이오메탄올은 일반적으로 농업 폐기물 및 부산물과 같은 바이오매스에서 생산됨 • e-메탄올은 일반적으로 DAC 그린 수소를 사용하여 추출된 이산화탄소에서 생산됨
--	--	--

자료: Lloyd's Register(2023), p.69.

메탄올은 상온과 대기압에서 운송가능하여 가솔린과 유사하게 취급되며, 화학제품 운반선에 의해 이미 운반되고 있다. 메탄올 운송 및 병커링 설비는 기존 선박 연료의 인프라와 비슷해 초기 투자가 크지 않다. 그리고 상온 보관 운송이 가능하고 기존의 규정, 지침과 연료탱크 사용이 가능하다. 또한 연료 계통의 청소가 필요하지 않아 유지 및 보수가 용이하다.¹⁰⁾

한편 메탄가스를 통해 생산된 메탄올은 Well-to-Wake 기준 저유황유 대비 온실가스 저감효과가 크지 않다. 그러나 그린 메탄올의 경우에는 저유황유 대비 온실가스 배출량을 약 90% 이상 감소시킬 수 있다.¹¹⁾ 따라서 해운 분야 탄소중립 달성을 위해서는 e-메탄올과 바이오 메탄올과 같은 그린 메탄올 연료 생산 및 보급이 이상적이다.

3) 암모니아

암모니아는 유망한 친환경 선박 연료 중 하나로서 IMO의 온실가스 배출 목표 달성을 위한 선박 연료 수단으로 거론되고 있다. 재생 에너지를 전기 분해하여 생산된 암모니아는 해운 부문 탈탄소화에 유익을 제공한다. 그러나 재생 에너지 기반의 암모니아 연료를 사용하는 경우 소량의 파일럿 연료가 필요하기 때문에 해당 파일럿 연료 역시 무탄소 배출 연료로 사용하는 것이 중요하다.

10) 엄향섭(2023), p.31.

11) 위의 책, p.32.

현재 암모니아는 주로 천연가스를 이용해 생산되며 많은 양의 온실가스를 배출하고 있다. 따라서 재생 가능한 에너지를 통해 생산하는 것만이 친환경 선박 연료로서 선택 가능한 옵션이다. 궁극적으로는 근해 및 여객 선박보다는 심해 화물선에 더 적합한 연료이다.

암모니아 연료 응용 기술 수준은 아직 개발 및 연구 단계에 있으며 해운 업계에 실제 응용되는 사례는 거의 없는 실정이다. 다만 암모니아 합성에 재생 에너지를 활용을 포함한 하버-보시(Haber-Bosch) 공정 등의 암모니아 생산 기술은 발달되어 있다.¹²⁾

한편 암모니아 선박연료는 극저온의 보관이 필요없어 기존의 물류 인프라를 사용할 수 있는 장점이 있다. 그리고 다른 친환경 연료에 비해 액체 형태의 에너지 밀도가 높다. 반면에 독성으로 인한 위험 요소를 갖고 있으며 저인화점 연료 및 가스에 비해 선박 설계가 복잡하다.

〈표 2-6〉 수소 종류

구분	내용
그레이 암모니아	• 화석연료(보통 메탄)에서 생산됨
브라운 암모니아	• 석탄 가스화를 통해 석탄에서 생산된 수소를 생산 원료로 활용함
블루 암모니아	• 수소 생산 중에 배출된 CO ₂ 를 탄소포집 활용 및 저장(CCUS) 기술을 적용하여 90%를 포집함
그린 암모니아	• 전기분해한 재생 가능 전기를 활용하여 생산하고 탄소 배출이 전혀 발생하지 않음

자료: Muhaamd Hamza Ashraf(2023.6.10.)(검색일: 2024.1.25.)

12) 하버-보시(Haber-Bosch) 공정은 암모니아의 대규모 생산에 사용되는 공정으로서 비료에 사용 된 암모니아 생산에 주로 적용함

4) 수소

수소는 생산방식에 따라 그레이 수소, 블루 수소, 그린 수소 등으로 구분된다. 그레이 수소는 천연가스에서 고온·고압 수증기와 반응시켜 추출하며 생산 시 이산화탄소를 배출한다. 블루 수소는 그레이 수소 생산과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집 및 저장하여 탄소 배출량을 줄인 수소를 의미한다. 또한 그린수소는 재생에너지 등으로 생산한 저탄소 전기로 수전해하여 탄소를 전혀 배출하지 않는다. 현재 그린 수소와 블루 수소는 그레이수소에 비해 가격 경쟁력이 없으나 향후 전기분해장치 비용 하락 시 가격 경쟁력 확보가 가능할 것으로 전망된다.¹³⁾

〈표 2-7〉 수소 종류

구분	내용
그레이 수소	• 천연가스에서 고온·고압 수증기와 반응시켜 추출하며 생산 시 이산화탄소를 배출함
블루 수소	• 그레이수소 생산과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집 및 저장하여 탄소 배출량을 줄인 수소를 의미함
그린 수소	• 재생에너지 등으로 생산한 저탄소 전기로 수전해한 것으로 탄소를 배출하지 않음

자료: 특허청(2022), p.73.

수소 연료의 장점 중 하나는 그린 수소의 경우 무탄소 청정연료라는 것이다. 그리고 연료전지를 이용한 에너지 발생 및 수전해를 이용한 직접적인 생산이 가능하기 때문에 재생에너지와 연계하여 친환경적인 생산을 하는데 용이하다. 또한 수소연료전지 선박은 연료전지에 수소를 공급해 전기를 생산하고 생산된 전기로 모터를 구동하기 때문에 발전 효율이 높아 선박 운항 시 연료 비용을 절감할 수 있다.¹⁴⁾¹⁵⁾

13) 특허청(2022), p. 73.

14) 선박 연료 전지의 발전 효율은 47~60% 이상으로 기존 가솔린 엔진(25%)과 디젤엔진(35%)에 비해 높음

그러나 수소 연료는 다음과 같은 한계를 갖고 있다. 첫째, 저온 저장 및 부피 문제 등으로 장거리 운항 선박 연료로 활용하는데 어려움이 있다.¹⁶⁾ 수소 연료는 선박 공간의 상당 부분을 연료 공간으로 사용해야 하며 연료 저장 개념 차원에서 극저온 상태 또는 고압상태를 유지해야 한다.¹⁷⁾ 또한 -253도에서 액화하므로 저장 및 보관 시 에너지 소모가 크며 체적 에너지 밀도가 낮아 기존 대비 약 7.6배의 연료탱크를 필요로 한다.¹⁸⁾ 둘째, 낮은 경제성이다. 수소연료는 운송 및 저장 시 높은 비용이 소요되며 암모니아보다 생산 가격이 높을 것으로 예상된다. 또한 선박에 적용 할 수 있는 연료전지의 비용이 높은 가운데 연료전지 수명이 짧기 때문에 잦은 교체 비용이 발생하게 된다. 뿐만 아니라 PEMFC 연료전지는 백금촉매를 사용하여 비용이 높다.¹⁹⁾ 셋째, 높은 기술 장벽이다. SOFC 연료전지는 무게와 부피가 크기 때문에 아직까지는 선박에 적용하기 어렵다. 또한 액화수소 저장 및 공급 시스템은 해상에서 단열 성능과 저장 시스템의 충분한 강도를 동시에 확보하기가 매우 어렵기 때문에 설계 기술과 적합한 금속 및 복합 소재 개발이 필요하다.²⁰⁾ 또한 고압상태의 수소를 안전하게 저장하기 위해서는 추가적인 안전 기술이 요구된다.

한편 수소는 다양한 형태로 저장해 운송할 수 있다. 주요 형태로는 기체 수소, 액화수소, 액상유기수소화물(LOHC)/암모니아 등이 있으며 파이프라인, 트럭, 선박 등을 통해서 운송 가능하다. 액화수소는 기체수소보다 많은 양을 저장하여 운송 가능하며 수소를 LOHC로 변환해 운송 후 다시 수소를 추출하는 방법과 암모니아 합성 후 운송한 후 추출하는 방법이 있다.

15) 이제명(2020) 재인용

16) 조선비즈(2022.11.19.)(검색일: 2023.2.1.)

17) 수소는 다른 탄소수소 연료에 비해 단위 질량 당 발열량이 높고 단위 부피당 에너지 밀도가 매우 작기 때문임

18) 서용석 외(2020), p.20.

19) 선박연료로서 수소를 사용하기 위해서는 연료전지를 이용한 전기추진 방식이 주로 활용될 것이며 검토 중인 연료전지로는 PEMFC(Polymer Electrolyte Member Fuel Cell)와 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 등이 있음

20) 한국산업기술평가관리원(2020.2.6.)(검색일: 2023.2.1.)

운송방법별 운송비용은 3~4달러로 비슷하며 단거리와 중거리 운송의 경우 파이프라인 운송이 타 운송 방법에 비해 비용이 저렴하다. 다만 신규 파이프라인 구축 시에는 대규모 자본 및 시설 투자가 필요하여 이에 대한 고려가 필요하다.²¹⁾ 5,000Km 이상 장거리의 경우에는 선박으로만 운송 가능하다. 그러나 현재 선박을 통해서도 대규모의 액체수소를 운반하기 어렵다.

제2절 친환경 선박연료 시장 동향

1. 친환경 선박 동향

2023년 기준 39척의 선박(3,380만 GT)이 대체 연료 추진 선박으로 발주됐으며 이는 발주 톤수의 약 45%를 차지한다. 이 가운데 LNG 가능 이중연료 선박이 220척으로 가장 많은 비중을 차지했으며 그 다음으로 LNG 운반선 152척이 뒤를 이었다. 또한 메탄올 이중 연료 선박은 125척, LPG 선박 55척, 암모니아 연료 선박 4척이 발주됐다. 미래 옵션 가능성을 반영하여 신조 가운데 579척이 LNG 레디, 322척이 암모니아 레디, 272척이 메탄올 레디 선박이다. 선종별로는 컨테이너선과 자동차 운반선의 대체선박 발주 비중이 높으며 벌크선과 유조선의 비중은 낮다. 클락슨은 전 세계 선대의 약 6.0%가 대체 연료를 사용할 수 있을 것으로 추정한다.²²⁾

한편 선사별로 그린 메탄올 추진 선박 발주 현황을 보면 머스크가 총 25척으로 가장 많이 발주했으며 그 다음으로 에버그린과 CMA CGM이 각각 24척, 22척으로 그 뒤를 잇고 있다.

21) 특허청(2022), p.94.

22) Riviera News(2024.1.8.)(검색일: 2024.2.1.)

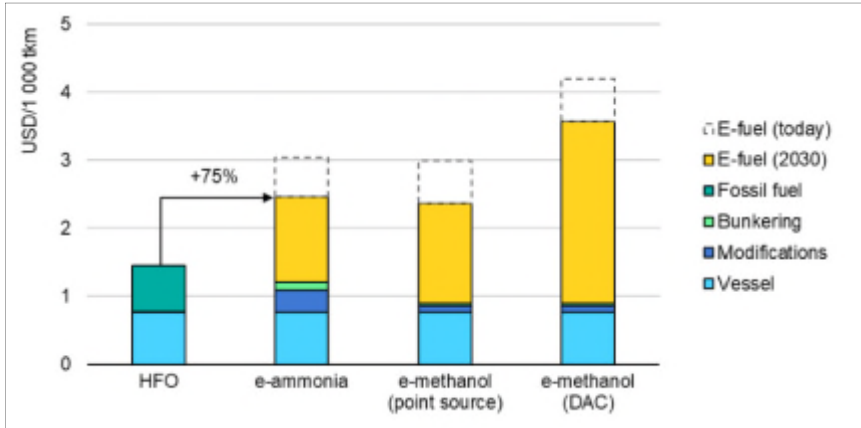
〈표 2-8〉 주요 글로벌 선사들의 그린 메탄올 추진 선박 발주 현황

기업명	선종	발주량(척)	넷제로 목표
머스크	컨테이너	25	2040
에버그린	컨테이너	24	2050
CMA CGM	컨테이너, 탱커	22	2050
Cosco Shipping	컨테이너, 벌크, 탱커	12	2060
HMM	컨테이너	9	2050

자료: Bloomberg(2023.9.14.)(검색일: 2024.2.15.)

컨테이너선에 e-연료를 사용할 경우, 선박 개조, 병커링 비용 증가 및 HFO에 비해 높은 e-연료 비용 등으로 인해 활동 단위(톤 킬로미터)당 총 운송 비용이 75% 증가한다. 또한 e-암모니아는 e-메탄올보다 생산 비용이 저렴하나 선박 취득 및 유지 등을 포함한 총 소유 비용은 더 높다. 그러나 이는 e-메탄올을 바이오 CO₂에서 생산했을 때를 가정한 경우이며, 바이오 매스 연소 플랜트의 연소 가스 또는 직접 공기 포집에서 포집된 CO₂에서 생산할 경우, e-메탄올의 전체 비용은 e-암모니아보다 더 높아진다, 또한 직접 공기 포집(DAC)의 경우 e-메탄올 추진 컨테이너선의 총 소유 비용은 기존 HFO 보다 약 세 배 높을 것으로 추산된다.

〈그림 2-1〉 연료별 컨테이너선 총 소유 비용



주: 1) Modification은 HFO와 비교 시 증가한 CAPEX와 OPEX를 나타냄
 2) 항만 요금 및 취급 수수료는 제외함
 3) 58MW 엔진을 장착하고, 16노트, 연간 십만 해리로 이동하는 9,600TEU 컨테이너선으로 가정함
 자료: IEA(2023), p.57.

2. 친환경 선박연료 시장

해운 분야에서 탄소배출을 줄이기 위해서는 바이오연료, 암모니아, 수소 등의 친환경 연료가 주요 선박연료로 사용되어야 한다. 각각의 친환경 연료는 공급 원료 가능성, 생산, 저장·물류·병커링, 선상에서의 에너지 저장 및 연료변환, 선상 안전 및 연료 관리, 탄소배출, 규제 및 인증 차원에서 준비도가 다르게 나타난다. 또한 친환경 선박연료 선택은 성능, 비용, 운영 능력 등에 차이가 있다. 따라서 단일 옵션이 선택되지 않을 수 있고, 다양한 응용 분야에 다양한 연료를 사용함에 따라 전환이 더욱 복잡해질 가능성이 있다.

〈표 2-9〉 친환경 선박 연료 준비도

구분	공급 원료	생산	저장·물류· 병커링	선상 저장 연료 변환	안전 및 관리	탄소배출	규제 및 인증
e-암모니아	◎	●	○	○	○	○	○
블루 암모니아	●	●	○	○	○	○	○
e-메탄올	●	●	●	◎	◎	◎	●
바이오 메탄올	●	●	●	◎	◎	◎	●
바이오 오일	●	○	●	●	◎	●	●

주: ◎-성숙(솔루션 사용 가능하고 장벽 없음), ●-식별된 솔루션(솔루션 존재하나 과제 존재), ○-주요 과제
(솔루션 미개발 및 부족)

자료: Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022),, p.18.

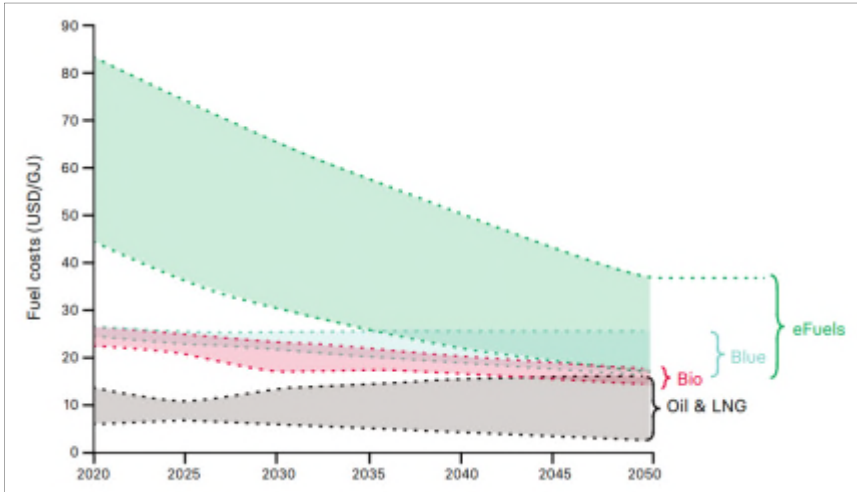
상업적 측면에서 암모니아는 견고한 글로벌 시장이 있으며 화석연료에서 생산된 암모니아를 농업 및 산업용으로 사용하기 위한 기존 인프라가 있다. 메탄올도 제조에 사용되기 때문에 대량의 메탄올이 전 세계적으로 운송되고 있다. 단, 메탄올을 선박 연료로서 확대하기 위해서는 터미널과 병커링 시설을 포함한 메탄올 항만 인프라를 대폭 확장해야 한다. 수소연료의 경우 현재까지는 생산량의 1% 미만이 탄소중립적인 특성을 가지며 수요가 확대됨에 따라 가격도 상승할 것으로 보인다.²³⁾

친환경 선박 연료의 가격은 점차 하락하여 화석연료 가격과의 갭도 줄어들 것으로 예상되나 여전히 화석 기반 연료 가격보다 높을 것으로 보인다 (〈그림 2-2〉 참조).²⁴⁾

23) Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), pp.19-23.

24) 위의 책, p.5.

〈그림 2-2〉 선박 연료별 생산 가격 전망



자료: Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), p.5.

1) 바이오연료

현재 해운 분야에서의 바이오연료의 활용은 제한적이며 대부분 시범 프로젝트 등으로 진행되고 있다. 그러나 일부 해운 기업은 정기적으로 화석 연료와 바이오연료를 혼합한 연료를 상당 부분 사용할 것이라고 밝혔다. 노르웨이의 후터루텐(Hurtigruten)은 2020년부터 일부 선박에 LNG/LBG(Liquidified Bio Gas)를 사용 계획을 세웠으며 MSC는 로테르담에 입항하는 일부 컨테이너 선박에 30%의 바이오연료 혼합유를 사용하기 시작했다. 또한 CMG CGM은 Shell이 공급한 폐식용유로 만든 수만 톤의 고급 바이오연료를 구입했다.²⁵⁾

바이오 선박연료 시장 규모는 2024년 39억 달러, 2034년 80억 달러에 이를 것으로 전망되며, 2024년부터 2034년 동안 연평균 7.3% 성장할 것으로

25) Fabian Kock(2021), p.13.

전망된다.

바이오연료 주요 기업으로는 Cargill, Neste Oil, Chevron Corporation, GoodFuels, ExxonMobil, BP plc, UPM, TotalEnergies, Uniper Energy, World Energy, Dansuk Industrial, Emami Group, Gevo, Cepsa 등이 있다. ExxonMobil은 암스테르담-로테르담-앤티워프(ARA) 지역과 싱가포르에 해상 바이오연료유를 공급하고 있으며 2030년까지 일일 20만 배럴의 저탄소 배출 연료 공급 목표를 포함해 저탄소 배출 솔루션을 발전시키는 데 집중하고 있다.

2) 메탄올

글로벌 그린 메탄올 시장 규모는 2022년 36억 1천만 달러로 평가되며, 2023~2031년 동안 연평균 7.05%로 성장하여 2031년까지 65억 8천만 달러에 이를 것으로 예상된다.²⁶⁾

관련 주요 기업으로는 P. Moller - Maersk, ABEL Energy Pty Ltd., Advanced Chemical Technologies, BASF SE, Carbon Recycling International (CRI), Enerkem Inc., European Energy, Eni S.p.A., Fraunhofer GmbH, GIDARA Energ, Glocal Green, HIF Global, Innogy SE, Liquid Wind AB, Methanex Corporation, Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc. (MCG), Nordic Green ApS, OCI N.V., Saudi Basic Industries Corporation, Sodra Skogasagarma, Southern Green Gas Limited. Synhelion SA. Uniper SE. Vertimass LLC, WasteFuel 등이 있다.

CRI(Carbon Recycling International)는 2010~11년 아이슬란드에

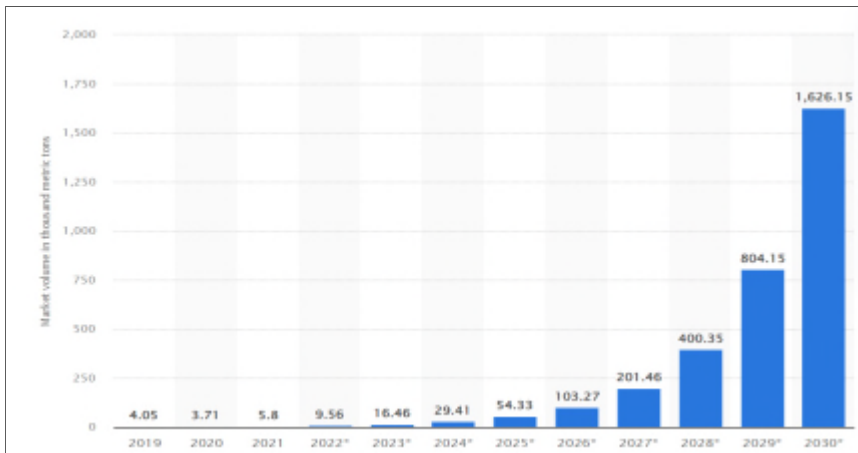
26) InsightAce 홈페이지(검색일: 2024.2.2.)

최초의 e-메탄을 실증 공장을 설립했으며 2012년 Vulcanol이라는 브랜드 이름으로 e-메탄올의 상업적 생산을 시작했다. OCI N.V.의 자회사인 BioMCN은 2010년 네덜란드에서 첫 번째 프로젝트를 시작하여 연간 20만 톤 규모의 바이오메탄올을 생산하고 있다. OCI는 향후 연간 약 40만 톤으로 생산 능력을 확대할 계획이다.

3) 암모니아

세계 암모니아 시장 가치는 2022년 747억 달러였으며 2028년에는 1,038억 달러에 이를 것으로 예상된다. 2021년 기준 그린 암모니아 시장은 58,000천 톤으로 전년 대비 56.3% 증가했다. 향후 10년 동안 연평균 90% 증가해 2030년에는 약 160만 톤에 이를 것으로 예상된다.²⁷⁾ 한편 블루 암모니아와 e-암모니아는 2050년까지 해상연료 시장의 20~60%를 차지할 것이며 평균 약 46%를 차지할 것으로 전망된다.

〈그림 2-3〉 그린 암모니아 시장 규모



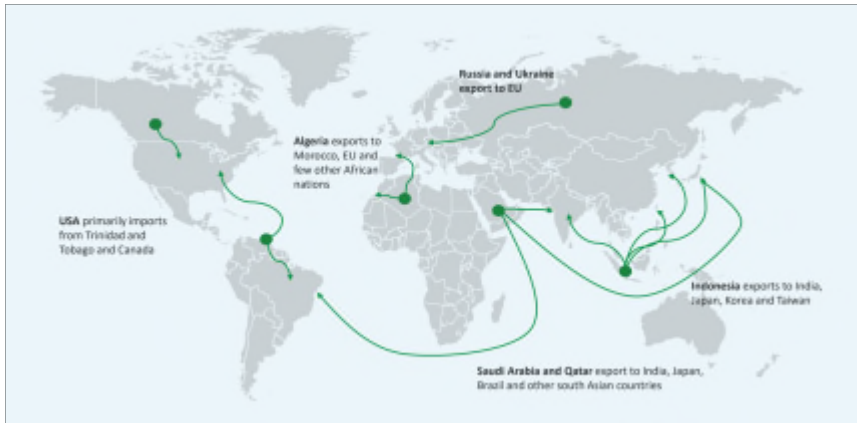
자료: Statista 홈페이지(검색일: 2024.2.2.)

27) Statista 홈페이지(검색일: 2024.2.2.)

트리니다드 토바고는 암모니아 최대 수출국이다. 다른 주요 수출국으로는 러시아, 인도네시아, 알제리, 사우디아라비아, 카타르 등이 있다. 이들 국가 모두 암모니아 생산의 주요 공급 원료인 천연가스 확보가 용이하다. 암모니아 수출의 대부분은 선박을 통해 운송한다. 그러나 암모니아 무역 시장은 규모가 작아 생산된 암모니아의 약 10%(18~20 MMT)만이 거래되고 있다.

주요 암모니아 수입국은 미국, 인도, 모로코, 한국 및 벨기에이며 5개국의 암모니아 수입량은 2021년 기준 전체 수입량의 50%이다. 여기에 터키, 중국, 멕시코, 노르웨이, 대만을 포함한 상위 10개국의 암모니아 수입량은 2021년 전체 수입량의 70%를 차지한다. 주요 수입국의 구매자는 주로 화학 부문, 인산염 비료 생산 등 산업용으로 이용한다.

〈그림 2-4〉 주요 암모니아 무역 거래 현황



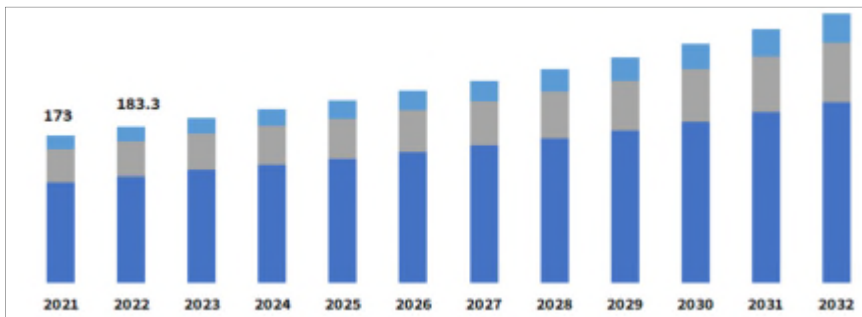
자료: Deloitte(2023), p.43

4) 수소

전 세계 수소 시장 규모는 2022년 기준 1,830억 달러이며, 2032년에는 3,170억 달러로 증가할 것으로 예상된다. 이 가운데 그레이 수소 규모가 78.1%를 차지하며 블루 및 그린 수소 규모가 12.9%이다. 또한 그린 수소 시장 규모는 2023년에 960만 달러를 초과했으며 2024년에서 2032년 동안 연평균 31% 이상 성장할 것으로 전망된다.²⁸⁾

〈그림 2-5〉 글로벌 수소 시장 규모

(단위: 백만 달러)



자료: GMI 홈페이지(검색일: 2024.2.2.)

그린 수소 시장을 선도하고 있는 기업은 Siemens Energy, Plug Power Inc., Cummins Inc., Air Liquide, Kinde plc, Air Products Inc., Iberdrola, S.A., Hirlinga Energy Limited, Engie, Lhyfe, GH2, CWP Global, ACME 등이 있다. 이 기업들은 전략적 파트너십, 인수합병 등을 추진하고 시장 입지를 강화하기 위해 긴밀한 협력을 통해 새로운 프로젝트를 개발하고 있다. 예를 들어 2022년 7월 Iberdrola와 S.A는 BP와 협력해 운송 및 산업 부문의 탈탄소화를 위해 스페인, 포르투갈, 영국의 EV 충전 인프라 및 녹색수소 생성 허브를 구축했다. 또한 이들은 연간 최대 600킬로톤 규모의 그린수소 생산시설을 확충할 계획이다.²⁹⁾

28) GMI 홈페이지(검색일: 2024.2.2.)

03

친환경 선박연료 수급 현황 및 전망

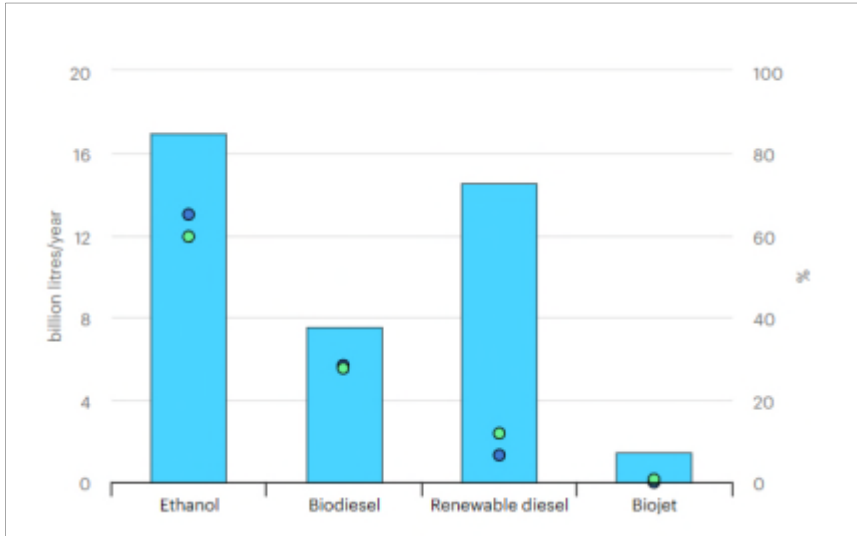
제1절 친환경 연료 수요 현황 및 전망

1. 바이오연료

2022년 기준 바이오연료 수요는 4.3EJ(1억 7천 만 리터)를 기록했다. 이 가운데 도로를 중심으로 한 운송 분야 소비량이 3.5% 이상을 차지한다. 2030년에는 바이오연료가 도로운송 에너지의 6%까지 확대될 것으로 전망된다. 특히, 바이오디젤의 수요는 주로 미국과 유럽의 정책으로 인해 증가할 것으로 보인다. 두 지역은 폐기물과 잔류물을 사용해 탄소집약도가 낮은 바이오디젤을 생산할 수 있다. 또한 2025년까지 에탄올 20% 혼합을 달성하려는 인도의 노력이 전 세계 에탄올 수요 증가를 이끌고, 2022년에 계획된 인도네시아의 40% 혼합 의무화는 바이오디젤 확대를 촉진할 것으로 보인다.

전 세계 바이오연료 수요는 2021~2026년에 410억 리터 증가할 것으로 예상된다. 한편 지구 온도 상승 1.5도 유지를 가정했을 때 운송 분야의 바이오연료 사용은 2019년 대비 2030년은 17EJ로 네 배 이상 증가하고, 2050년에는 25EJ이상으로 여섯 배 이상 증가할 것으로 예상된다.

〈그림 3-1〉 바이오연료 수요 전망(2021~2026)



자료: IEA 홈페이지(검색일: 2024.2.12.)

2. 메탄올

Bloomberg NEF의 추정에 따르면 전 세계 메탄올 수요가 2050년까지 연간 약 3억 톤으로 3배 증가할 것으로 보이며 대부분이 친환경 메탄올 수요일 것으로 전망했다. 또한 Lloyd's Register는 해운 부문의 그린 메탄올 수요가 2030년에 평균 0.15EJ에 도달한 후 2050년에는 1.8EJ, 즉 전체 병커 소비의 13.4%로 증가할 것으로 예측했다.³⁰⁾

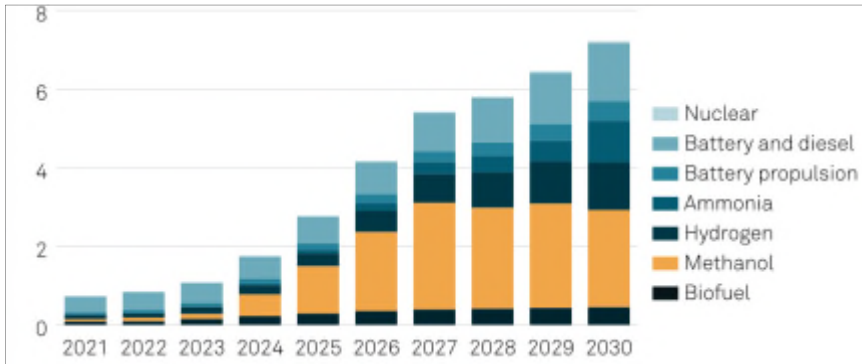
한편 S&P Global Commodity Insights는 해운 부문의 메탄올 수요가 2022년 94,700톤에서 2030년에는 250만 톤으로 증가할 것으로 예상했다.³¹⁾

30) S&P Gobbal Commodity Insights(2023.9.11.)(검색일: 2024.2.12.)

31) S&P Gobbal Commodity Insights(2023.9.15.)(검색일: 2024.2.12.)

〈그림 3-2〉 저탄소 메탄올 벙커 수요

(단위: 백만 톤)



자료: S&P Gobbal Commodity Insights(2023.9.15.)(검색일: 2024.2.12.)

3. 암모니아

암모니아는 에틸렌, 프로필렌, 메탄올, BTX 방향족 화합물(벤젠, 톨루엔, 자일렌)과 함께 다른 모든 화학 제품을 생산하는 데 사용되는 기본 화학 물질 중 하나이다. 전체 암모니아의 약 4/5가 요소 및 질산암모늄과 같은 질소 비료를 생산하는 데 사용되어 전 세계 인구의 약 절반의 식량 생산을 지원한다. 이 외에도 암모니아는 화학제품, 플라스틱, 식물(아크릴로니트릴, 멜라민) 제조, 광업(저밀도 질산암모늄 폭발물, 금속 광택 공정), 의약품, 냉각, 폐기물 처리, 질소산화물(NO_x) 저감과 같은 공기 처리 등에 사용된다. 2020년 기준 전 세계 암모니아 수요는 약 1억 8,300만 톤이었다. 현재 생산되는 모든 암모니아의 약 90%는 다운스트림 공정의 공급원료로 현장에서 소비되며, 매년 18~20Mt의 상업용 암모니아가 선박을 통해 운송되고 있다.³²⁾

암모니아 주요 소비지역은 아시아·태평양 지역으로 세계 암모니아 소비

32) IRENA(2022), p.24.

량의 절반 이상을 소비하며, 주로 농업 활동에 암모니아를 사용한다. 중국과 인도는 암모니아 기반 비료의 최대 소비국이며 그밖에 북미, 유럽, 남미, 중동 및 아프리카 지역에서도 암모니아를 사용한다.

최근 들어 암모니아 연료는 선박 연료로서 가능성이 검토되고 있으며 미래 수요 시나리오 및 부문별 생산 속도에 따라 선박연료로서 암모니아에 대한 수요는 2050년까지 약 1억 톤에서 10억 톤 이상에 이를 것으로 전망됐다. 전체 암모니아 시장은 2050년까지 6억 8,300만 톤으로 증가할 것으로 전망된다.³³⁾

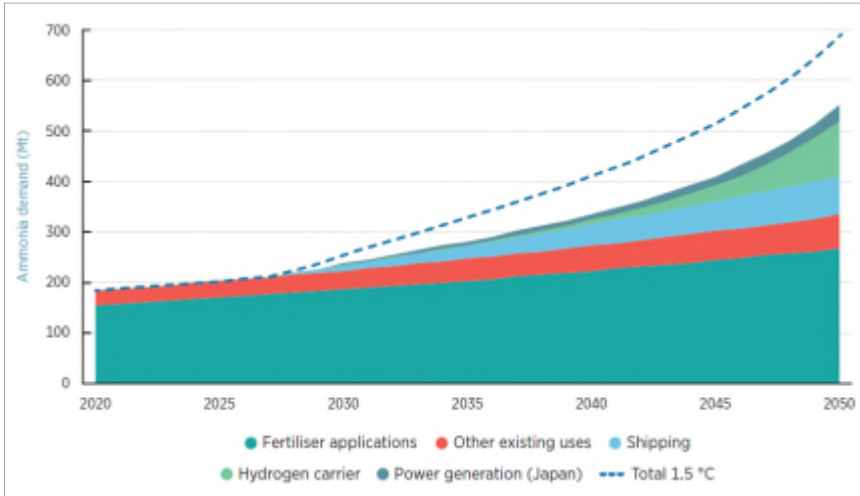
〈표 3-1〉 세계 암모니아 선박 연료 수요 전망

전망 기관	구분	(Mt)	비고
IEA	2030년	8	에너지 기술 측면
	2040년	41	
	2050년	103	
	2060년	188	
	2070년	302	
DNV GL	2050년	173-774	IMO 목표치 가정
DNV GL	2050년	251-1.069	2040년 넷제로 달성 가정
IRENA	2050년	247	지구 평균기온 상승 폭 1.5도 유지 시
머스크 탄소제로해운맥킨니윌러센터	2030년	110	-
	2040년	283	
	2050년	333	

자료: IRENA(2022)p.139

33) 위의 책, p.83.

〈그림 3-3〉 암모니아 수요 전망



자료: IRENA(2022)p.141

4. 수소

수소 수요는 2022년에는 9,500만 톤에 달하지만 대부분은 배출 집약적인 공급으로 생산되어 직접적인 CO₂ 배출량이 0.9Gt 이상 발생했다. 그러나 아직까지 수소 선박 연료에 대한 수요는 미미하다. 수소의 최종 소비는 철강 및 비료의 공급원료, 장거리 지상 이동성, 선박 및 항공 합성연료 생산, 난방 및 발전 등에 이용된다.

수소는 선박이 정박해 있는 육상 전력과 더불어 연안 페리 운항 등 단거리 해상운송에서 전력화가 가능할 전망이다. 또한 암모니아 및 e-연료와 같은 수소 기반 연료는 단기 및 중기적으로 무탄소 연료의 대부분을 차지할 것으로 보인다. DNV에 따르면 선박에서 e-연료(주로 e-메탄올) 채택은 2030년에 480페타줄(PJ) 또는 선박 연료 혼합의 3%를 차지하고, 2040년에는 1,800PJ(12%), 2,600PJ로 증가할 것으로 예상된다.³⁴⁾ 또한 2050년

에는 중국, 유럽, 북미가 가장 큰 수소 시장이 될 것이며 전 세계 수요의 60%를 차지할 것으로 전망된다.

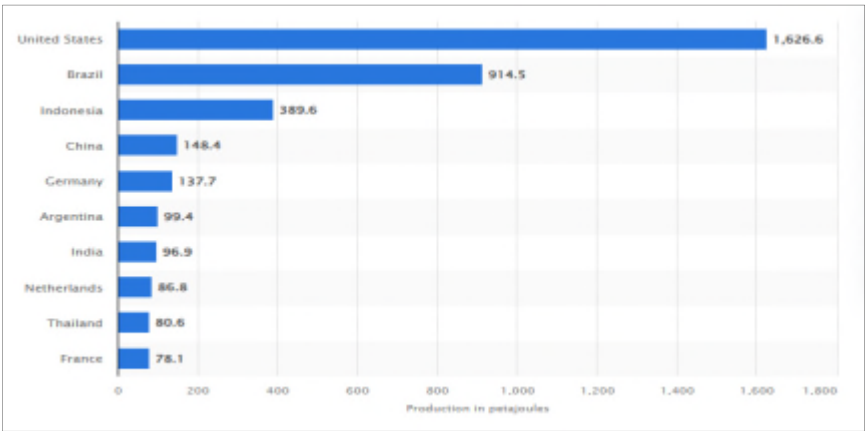
제2절 친환경 연료 공급 현황 및 전망

1. 바이오연료

전 세계 바이오연료 생산량은 일일 석유 환산 배럴 기준으로 2000년 18만 배럴에서 2022년 190만 배럴로 점차 증가했다. 바이오연료 주요 생산국은 미국, 브라질, 인도네시아 등이 있다. 2022년 기준 미국의 생산량은 1,627페타줄로 전 세계 바이오연료 생산량의 약 38%를 차지했다. 브라질과 인도네시아가 각각 915페타줄, 390페타줄을 생산했다.

〈그림 3-4〉 바이오연료 주요 생산 국가

(단위: petajoules)

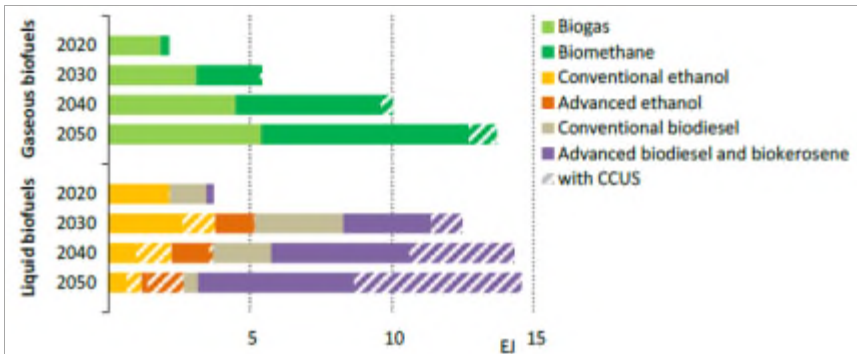


자료: Statista 홈페이지(검색일: 2024.2.14.)

34) DNV(2023), 57.

바이오연료는 일반적으로 화석 연료원과의 혼합물의 일부로 사용되거나 첨가제로 사용된다. 많은 차량은 최대 10%의 에탄올을 함유한 혼합물을 사용하여 연료를 공급할 수 있다. 현재 운송용 액화 바이오연료의 약 7%를 제외한 나머지는 사탕수수, 옥수수, 대두 등 작물에서 생산된다. 따라서 바이오연료의 생산은 식량 작물과 직접 경쟁함으로써 생산량 확대가 제한적이다. 따라서 탄소중립 실현 가정 시 바이오연료 증가 대부분은 폐기물 및 잔류물 등 고급 원료에서 생산될 것이다. 고급 액화 바이오연료 생산 기술은 향후 10년 동안 급속히 확대될 것이며 동 연료는 2020년 1% 미만에서 2030년 약 45%, 2050년 약 90%로 증가할 것이다. 또한 지속가능한 바이오매스 공급망 개발에 따라 2020년에서 2050년 사이 액화 바이오연료와 바이오가스 생산량은 각각 네 배, 여섯 배 증가할 것으로 전망된다.³⁵⁾ 그러나 현재 대부분은 개발 중에 있으며 일본, 영국, 미국 등에서 프로젝트에서 향후 몇 년 내 생산할 것으로 예상된다.

〈그림 3-5〉 기술 및 유형별 바이오연료 생산 전망



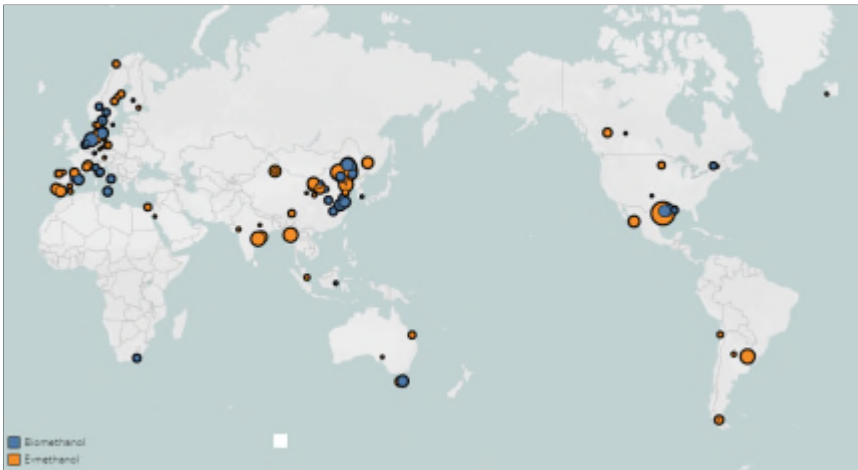
자료: IEA(2023), p.107.

35) IEA(2023), p.107.

2. 메탄올

현재 상업적으로 판매되지 않을 수도 있는 시범 공장과 합성 메탄올을 생산하는 공장을 포함하여 전 세계적으로 약 15만 3천 톤의 그린 메탄올 생산 능력이 가동되고 있다. 또한 이용할 수 있는 메탄올 기반 시설과 저장 시설은 화학 산업과 밀접하게 연결되어 있으며 유럽, 아시아 및 미국 동부 해안/걸프 지역에서 가장 많은 생산을 하고 있다. 재생 메탄올 생산 지역의 경우 기존의 운영 중이거나 계획된 생산 시설과 동일 지역에 있으며 특히 유럽 지역에서 이러한 현상을 보인다.³⁶⁾

〈그림 3-6〉 그린 메탄올 생산 플랜트



자료: Methanol Institute 홈페이지 (검색일: 2024.2.7.)

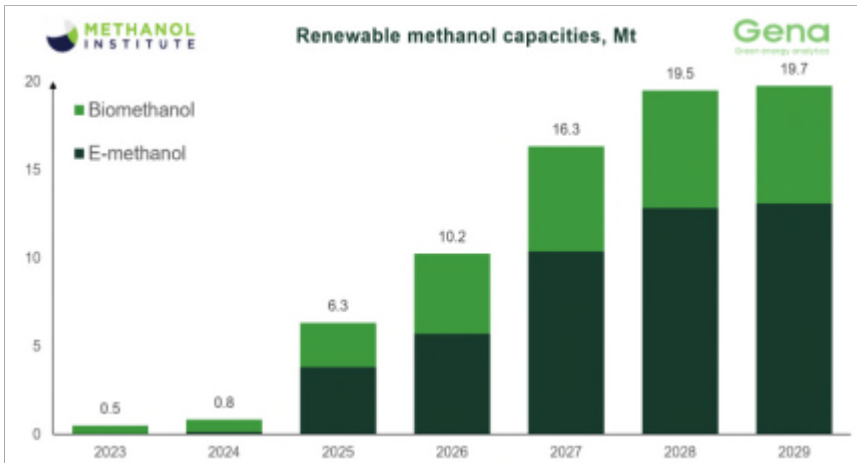
세계 최대 메탄올 생산업체인 Mthanex는 2022년 전 세계 메탄올 수요가 약 8,800만 톤으로 추산했으며 향후 5년간 연평균 약 3% 또는 1,400만 톤 이상 증가할 것으로 예상했다. 국제재생에너지기구(IRENA)도 앞으로

36) Aagenæs&Oliegreen(2022), p.85.

메탄올 생산량의 증가는 재생 가능한 메탄올로 점진적인 전환을 가져올 것으로 예상되며, 2050년까지 연간 e-메탄올 생산량은 2억 5천만 톤, 바이오메탄올 생산량은 1억 3,500만 톤에 이를 것으로 전망했다.³⁷⁾ 한편, 메탄올 연구소(Methanol Institute)는 2023년 기준 바이오 메탄올과 e-메탄올 생산량을 50만 톤으로 추산했으며 2029년에는 1,970만 톤으로 증가할 것으로 전망했다(〈그림 3-7〉 참조). 또한, 전 세계 80개 이상의 재생 메탄올 프로젝트를 통해 2027년까지 연간 800만 톤 이상의 e-메탄올과 바이오 메탄올이 생산될 것으로 예상했다.³⁸⁾ 메탄올은 다른 친환경 연료에 비해 병커링이 수월하며 싱가포르, 로테르담 등 대부분의 항구에서 병커링이 가능하다.

〈그림 3-7〉 그린 메탄올 생산량 전망

단위: 백만 톤



자료: Methanol Institute 홈페이지 (검색일: 2024.2.7.)

37) S&P Global(2023.4.20.)(검색일: 2024.2.7.)

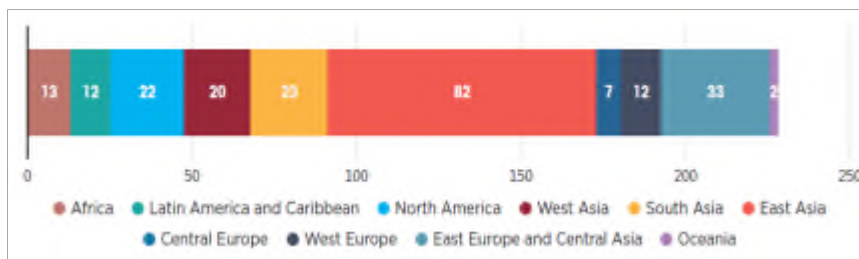
38) Methanol Institute 홈페이지 (검색일: 2024.2.7.)

메탄을 연구소에 따르면 바이오메탄을 또는 e-메탄을 생산 프로젝트가 전 세계적으로 90개 이상 있으며 2027년까지 총 예상 생산 능력은 800만 톤에 달하고 건설 중인 플랜트 규모는 연간 4,000~10,000톤에서 50,000~250,000톤으로 증가했다. 대부분의 친환경 메탄을 프로젝트는 중국, 북유럽 및 북미에 위치하며 주요 벙커 허브인 싱가포르 및 아랍에미리트와 멀리 떨어져 있어 물류 격차가 발생한다.³⁹⁾

3. 암모니아

암모니아는 주로 아시아에서 생산되며 이는 전 세계 암모니아 생산량의 절반 이상을 차지한다. 특히 동아시아 지역 생산 비중이 높으며 그 외 동유럽 및 중앙아시아, 남아시아, 북미에 기반을 두고 있다.⁴⁰⁾

〈그림 3-8〉 2020년 지역별 암모니아 생산능력



자료: IRENA(2022), p.28.

암모니아는 수십 년 동안 대량으로 처리되고 안전과 보안을 보장하기 위해 준수해야 하는 교육, 산업코드 및 표준, 규정 및 운송과 보급 기술의 성

39) Reuters(2023.8.23.)(검색일: 2024.2.7.)

40) IRENA(2022), p.28.

속도가 높다. 연간 약 25~30백만 톤의 암모니아가 암모니아는 도로, 기차, 선박 및 파이프라인을 통해 운송되며 이 가운데 18~20백만 톤이 선박으로 운송된다. 암모니아를 운송할 수 있는 선박은 약 170척이며 이 중 40척은 지속적으로 암모니아를 운반하고 있다.⁴¹⁾ 그레이 암모니아 수입 및 수출 터미널과 무역 경로는 다음 <그림 3-9>와 같다.

<그림 3-9> 암모니아 해상운송 인프라



자료: IRENA(2022), p.29.

또한 대형 암모니아 저장 시설은 일반적으로 암모니아 생산시설 근처 항구에 있다. 암모니아가 비료로 직접 사용되는 미국에는 주로 중서부 옥수수 벨트에 1만 개 이상의 암모니아 저장 장소가 있으며 아이오와주에만 천 개 이상, 저장 용량 약 80만 톤의 저장 시설이 존재한다. 암모니아 저장 시설은 해안 지역 항구와 수출입 터미널은 물론 석탄 화력발전소, 폐수 처리 시설, 냉장 보관 시설 주변에도 있다.

한편 좋은 위치에 있는 국가는 무탄소 병커 연료를 생산할 때 필요한 에너지 원료를 대량 보유하고 있으며 해운 활동에 유리한 접근성을 갖춘 경향이 있다. 예를 들어 브라질은 운송용 블루 암모니아 생산에 적합한 위치이고, 인도는 운송용 그린 암모니아 생산에 좋은 위치이다. 또한 말레이시

41) 위의 책, p.28.

아는 청색 암모니아 생산에 좋은 위치이고 운송용 그린 암모니아를 생산한다.⁴²⁾

2050년까지 암모니아 저장 및 운송 등 공급망에는 연간 수백억 달러의 투자가 필요할 것으로 전망된다. 예를 들어 2주마다 선박이 운항한다고 가정할 때 전 세계로 운송되는 추가 암모니아 3억 5,400만 톤을 수용하려면 2050년까지 용량이 85,000m³(암모니아 5천 8백만 톤)인 선박 235척이 필요하다.⁴³⁾

그린 암모니아 생산 계획은 <표 3-2>와 같다. 암모니아 프로젝트에 대규모 투자를 진행하고 있는 국가는 호주, 칠레, 덴마크, 네덜란드 및 뉴질랜드가 있다. 호주에서 가동 예정인 생산시설은 총 16곳이며 프로젝트가 진행될 계획이며 노르웨이에서도 4곳에서 생산 설비가 가동될 예정이다. 모로코는 전략적 위치 및 풍부한 태양광 및 풍력 자원을 갖추에 따라 그린 암모니아 벙커링 허브가 될 수 있는 잠재력이 있다.

<표 3-2> 그린 암모니아 생산 시설(commercial plant)

지역		기업	시작 연도	용량(kt/yr)	전기 원료
오만	두쿰	ACME, Tatweer	2021 TBD	TBD 770	Sola
	두쿰	DEME Concessions, OQ	2026 TBD	150 520	solar, wind
	우스타	OQ, InterContinental Energy, EnerTech	2028 2038	TBD 9,500-11,400	onshore wind, solar
호주	포트링컨	H2U, Mitsubishi, Government of South Africa, ThyssenKrupp	2022 Unknown	40 705-1,410	Wind, solar
	필바라	Yara(개조 및 신설)	2023	<8	Onshore

42) World Bank(2021), p. 7.

43) IRENA(2022), p. 89.

지역	기업	시작 연도	용량(kt/yr)	전기 원료	
		2026 2028 2030	40~160 480 800	wind, solar	
	벨베이	Origin	2025	420	–
	글래스톤	H2U	2025	1,750	–
	타즈메니아	Fortescue	2025	250	–
	필바라	InterContinental Energy	2030 2035	3,000 9,900	onshore wind, solar
	머치슨	MRHP, Copenhagen Infrastructure Partners	2028	1,900	onshore wind, solar
	카나본	Province Resources, Total-Eren	2030 or before	2,400	onshore wind, solar
	글래스톤	Austrom Hydrogen	TBD	1,125	solar
	서호주	InterContinental Energy	TBD	20,000	–
	모란바	Dyno Nobel, Incitec Pivot	TBD	60	solar
	모우라	Queensland Nitrates, Incitec Pivot, Wesfarmers JV, Neoen, Worley	TBD	20	onshore wind, solar
	포트애들레이드	TBD	TBD	170~450	–
	글래스톤	BP, GHD, ARENA	TBD	20 1,000	wind, solar
	카나본	HyEnergy	TBD	300	onshore wind, solar
	포틀랜드	Countrywide Energy, Glenelg Shire Council, Port of Portland	TBD	56	–
뉴질랜드	타라나키	Ballance Agri-Nutrients, Hiringa Energy (개조)	2021	5	Wind
노르웨이	포르스그룬	Yara(개조)	2022 2025~2026	5 500	Hydro
	–	Grieg Edge, Arendals Fossekompani	2025	TBD	wind

지역		기업	시작 연도	용량(kt/yr)	전기 원료
	핀마르크	St1 Nordic Oy, Horisont Energi	TBD	TBD	wind
	베를레보그	Varanger Kraft	2025	90	wind
덴마크	웨스트유틸란트	Skovgaard Invest, Vestas, Haldor Tops øe	2022	5	Onshore wind, solar
	에스비에르	Copenhagen Infrastructure Partners, Maersk, DFDS	2026	650	offshore wind
	스키베	Siemens Gamesa, Energifonden Skive	TBD	TBD	wind
독일	북독일	Haldor Tops øe, Aquamarine	2024	105	offshore wind
네덜란드	슬루이스킬	Yara, Ørsted (개조)	2024-2025	75	offshore wind
일본	오가타빌리	Tsubame BHB	2022	TBD	Wind, solar
모로코	라바트	Fusion Fuel	2026	183	Wind, solar
스페인	팔로스데라프론테라	Fertibaria, Iberdola(개조)	2023 2027	62 100	solar
	푸에르토야노	Fertiberia, Iberdrola (개조)	2021 2025	6.1 57	Solar, battery
스코틀랜드	오크니	Eneus Energy	TBD	7	wind
칠레	안토파가스타	Enaex, ENGIE	2024 2030	18 700	solar
	-	AustriaEnergy, Ökowind	2026 or before TBD	TBD 850-1,000	onshore wind
페루	쿠스코	Enaex	1965	10	Hydro
브라질	이스파리투산투	AmmPower	TBD	TBD	-
미국	아이오와	Maire Tecnimont	TBD	84	onshore wind, solar
	루이지애나주	CF Industries, ThyssenKrupp(개조)	2023	20	Grid electricity
캐나다	퀘벡	Hy2Gen	2025	183	hydro
	라오스	Tsubame BHB	TBD	TBD	hydro

지역		기업	시작 연도	용량(kt/yr)	전기 원료
모리타니		CWP	TBD	11,425	wind, solar
케냐	레이크나이바샤	Maire Tecnimont	2025	45	solar, geothermal
이집트		ThyssenKrupp	TBD	TBD	-
UAE	아부다비	KIZAD, Helios Industry	2024 2026	40 200	solar
		TAQA Group, Abu Dhabi Ports	TBD	1,200	solar
사우디아라비아	네옴	NEOM, Air Products, ACWA Power	2025	1,200	Onshore wind, solar

자료: IRENA(2022), pp.54-56.

4. 수소

여러 국가에서 수소 프로젝트 개발을 위해 수십억 달러의 지원 예산을 책정했으며 저탄소 수소 생산 프로젝트를 위해 5억 달러 이상의 여러 투자가 결정되고 있다. 여기에는 2026년부터 전기분해를 통해 2천 톤의 수소로부터 암모니아를 생산하려는 프로젝트가 포함되어 있다. 수요와 공급을 일치시키고 선박에서 저탄소 수소 연료의 사용을 확대하기 위해서는 선사와 연료 생산자 간의 합의가 필요하다.

넷제로 달성 시나리오에서 예상되는 저탄소 수소 수요를 충족하기 위해서는 수소 생산 방식의 급격한 변화와 생산 규모의 확대가 필요하다. 수소 연료 생산에 있어서 설비 제조 능력, 생산 능력, 인프라, 최종 소비자 시스템 및 시장 표준의 부족은 장애요인으로 작용하고 있고, 해결해야 할 과제가 많이 남아 있다.

전 세계적으로 520개의 대규모 프로젝트가 발표됐으며 이 가운데 70%가 2030년 이전에 전체 또는 부분 시운전을 발표했다. 기가 규모의 프로젝트 수는 43개이며 10GW를 초과하는 재생 수소 프로젝트는 9개, 연간

0.2MT를 초과하는 저탄소 수소 프로젝트는 16개 등이 있다. 지역별로는 유럽이 261개로 가장 많은 프로젝트를 진행하고 있으며 아시아와 북미가 각각 121개와 67개의 프로젝트를 발표했다. 아시아의 경우 중국의 프로젝트가 절반을 차지하며, 이들 대부분은 지상 이동 부문의 수소 사용에 중점을 두고 있다. 또한 오세아니아, 아프리카, 중동 및 라틴 아메리카의 수소 수출에 초점을 맞춘 기가 규모 프로젝트가 총 28개 발표됐다. 이 지역들은 유럽, 일본, 한국 등 북반구 수소 허브의 증가하는 수요를 충족시킬 수 있는 매력적이고 저렴한 에너지 자원과 전략적 위치를 갖춘 지역이다.

〈그림 3-10〉 수소 프로젝트 현황



자료: Hydrogen Council(2021), p.36.

제3절 시사점

첫째, 개발도상국 등으로 무탄소 연료 공급 시장이 확대될 수 있게 되었다. 지금까지 기존 HFO 등 벙커연료 공급 시장은 일부 석유 수출 국가가 주도하고 있었다. 그러나 친환경 선박 연료 도입 및 확대로 미래에는 원유 매장국가와 운송용 에너지 공급이 분리되어 더 많은 국가가 선박 벙커링 시장에 진입 기회를 제공할 것이다.

개발도상국가들 가운데 주요 운송 경로에 전략적으로 위치하고, 저렴한 재생가능 에너지를 보유한 곳은 시장 진입의 기회를 확보할 수 있다. 예를 들어 브라질은 운송용 블루 암모니아 생산에 적합하며, 인도는 운송용 그린 암모니아 생산하기 좋은 위치이다. 그리고 말레이시아는 운송용 그린 암모니아를 생산한다. 또한 브라질과 인도의 경우 바이오연료 주요 생산국이다.

이러한 글로벌 선박 연료 시장의 변화는 향후 미래 선박연료를 공급망 확보하는데 있어서 새로운 협력 국가를 모색하고 선점하는데 중요한 계기를 제공할 것이다. 즉, 무탄소 선박연료를 생산할 수 있는 개발도상국을 식별하고 투자 및 협력을 통해 관계를 강화할 필요가 있다.

둘째, 친환경 선박 연료별 공급 지역 차이 발생한다. 다시 말해 친환경 선박 연료의 특성에 따라 주요 공급 지역이 구분된다. 그레이 암모니아의 경우 천연가스를 원료로 해서 천연가스가 풍부한 지역 위주로 생산 및 수출되고 있다. 또한 이미 수출입 항구 및 기반 시설이 잘 갖춰져 있어서 이를 활용할 수 있다.

한편 암모니아 주요 소비지역은 아시아-태평양 지역이며 주요 생산 지역은 아시아 지역과 동유럽, 북미 등이다. 그린 암모니아의 경우 호주, 칠레,

덴마크, 네덜란드 및 뉴질랜드 등에서 대규모 투자를 진행하고 있다. 이처럼 암모니아는 아시아-태평양 중심으로 수요와 공급이 발생한다.

메탄올은 기반 시설과 저장 시설은 화학 산업과 연결되어 있어 유럽, 아시아 및 미국 동부 해안/걸프 지역에서 가장 많이 생산되고 있다.

블루 및 그린 수소의 경우의 주요 수요 지역은 동북아시아, 유럽, 북미 지역이며 주요 생산 지역은 호주, 북아프리카 등이다. 한국과 일본 등 동북아시아 지역은 주요 수소 생산 지역에서 수소를 수입할 것이다.

04

글로벌 선사의 친환경 선박연료 확보 전략

제1절 글로벌 선사의 전략

1. 머스크(Maersk)

덴마크 선사 머스크는 친환경 선박연료 공급망 확보에 있어서 가장 적극적인 행보를 보이고 있는 선사이다. 2022년 3월 머스크는 2025년 말까지 연간 최소 73만 톤의 그린 메탄올 공급을 확보하기 위해 6개의 에너지 회사와 파트너십을 체결했다. 카본 싱크는 추가 재생 가능 전기와 바이오제닉 CO₂를 사용해 물을 전기분해해 그린 수소를 결합하여 녹색 메탄올을 생산하는 상용 기술을 적용한다. 또한 같은 해 8월에는 중국 바이오에너지 기업 Debo와 2024년 가을부터 연간 20만 톤의 그린 바이오 메탄올을 공급에 대한 파트너십을 체결했다.⁴⁴⁾

2022년 12월 15일에는 미국 선가스(SunGas)와 전략적 친환경 메탄올 파트너십을 체결하는 등 메탄올의 글로벌 생산 능력을 가속화하고 있다. 미국의 선가스가 개발할 여러 시설에서 그린 메탄올 생산을 다루고 있으며

44) gCaptain Shipping(2022.11.16.)(검색일: 2023.2.15.)

머스크는 이 시설에서 그린 메탄올을 전략 추출한다. 첫 번째 시설은 2026년에 운영을 시작할 계획이며 연간 생산 능력은 약 39만 톤이다. 이를 통해 선가스는 머스크가 주문한 19척의 메탄올 지원 컨테이너 선박에 필요한 친환경 연료를 공급한다.

2022년 3월에는 이집트와 대규모 녹색연료 생산시설 구축을 모색하기 위한 파트너십을 체결했다. 이번 체결을 통해 수에즈운하경제구역, 이집트 신재생 에너지 당국(NREA), 이집트 송전회사(EETC), 이집트 투자개발을 위한 국부기금(TSFE)와 협력한다.⁴⁵⁾

최근 건조 중인 차세대 이중연료 컨테이너선에 필요한 친환경 메탄올 병커링 인프라를 지속적으로 구축하고 있고 2023년 12월에는 요코하마시 및 미쓰비시가스화학(MGC)과 메탄올 병커링 허브를 구축하는 양해각서를 체결했다. 이번 협력에서는 요코하마항의 친환경 메탄올 병커링 타당성 검토와 항만시설 개발에 중점을 둘 것이라고 밝혔다. 한편 미쓰비시가스화학은 일본 메탄올 공급량의 50% 이상을 차지하는 최대 공급업체로서 일본에서 메탄올 선박 연료 공급 기지 구축 계획을 수립했다.

머스크는 현재까지 총 25척의 메탄올 추진 선박 신조 계약을 체결했으며 2024년 2월 첫 메탄올 추진 컨테이너선을 아시아~유럽 항로에 투입했다. 머스크는 첫 항해를 위해 충분한 메탄올 공급망을 확보한 상태라고 밝혔다.

2022년 11월에 머스크는 메탄올 연료 공급을 확보하기 위한 미국의 Carbon Sink LLC와 파트너십을 체결했다. Carbon Sink는 사우스다코다주 Rosholt에 있는 Red River Energy 바이오 메탄올 공장에 공동 위치한 첫 번째 시설을 개발 중이다. 이 시설은 연간 약 10만 톤의 생산 능력을 갖추게 되며 2027년 상업 가동을 시작할 것으로 예상된다. 머스크는 공장에서 생산되는 연료 전체에 대한 구매 계약을 체결했으며 다른 곳에 위치

45) Maersk(2022.3.28.)(검색일: 2023.2.15.)

한 시설에서 생산될 연료에 대한 것도 옵션으로 포함했다.

또한 Equinor와 파트너십을 체결해 북유럽에서 발트해까지 순환 운항하는 선박에 사용될 그린 메탄올을 2023년 9월부터 2024년 상반기까지 운영 초기 몇 달 동안 공급받는다. 해당 그린메탄올을 로테르담에 저장될 예정이다. 장기적으로 피더 선박은 유럽에너지(Europe Energy)가 운영하는 덴마크 남부공장의 e-메탄올 연료를 사용하게 되며 2024년 상반기에 가동 예정이다.⁴⁶⁾

2023년에는 중국의 Goldwind와 덴마크 오프테이크 계약을 체결해 2026년부터 연간 500킬로톤의 그린 메탄올을 확보했으며 상하이국제항만 그룹(SIPG)과 상하이항 메탄올 선박 연료 프로젝트에 관한 양해각서를 체결했다.

한편 A.P.뮐러 홀딩(A.P. Møller Holding)은 머스크와 함께 그린 메탄올을 대규모로 생산하기 위한 자산을 구축, 소유 및 운영할 독립 회사인 C2X에 초기 투자를 했다. 머스크는 재무상 세부 정보는 제공하지 않았으나 20%의 지분을 보유할 것이라고 밝혔다. C2X는 2030년부터 연간 300만 톤의 친환경 연료를 생산할 계획이며, 이집트와 스페인의 수에즈운하 근처에서 대규모 프로젝트를 추진 중이다.⁴⁷⁾

〈표 4-1〉 머스크 친환경 선박연료 확보 전략

추진 전략	내용	연료 종류
6개의 에너지회사와 파트너십 체결	2025년 말까지 연간 최소 73만 톤의 그린 메탄올 공급을 확보함	그린 메탄올
미국 선가스와 파트너십 체결	2026년부터 연간 약 39만 톤의 그린 메탄올 공급 확보	그린 메탄올

46) Offshore Energy(2023.9.8.)(검색일: 2024.2.15.)

47) Maersk(2023), p.40.

중국 바이오에너지 기업 Debo와 파트너십 체결	2024년 가을부터 연간 20만 톤의 그린 바이오 메탄올 공급을 확보함	그린 바이오 메탄올
이집트와 파트너십 체결	대규모 녹색연료 생산시설 구축	녹색 연료
요코하마시, 미쓰비시가스화학과 MOU 체결	요코하마항의 친환경 메탄올 벙커링 타당성 검토 및 항만시설 개발	그린 메탄올
미국의 Carbon Sink LLC와 파트너십을 체결	2027년부터 상업가동 예정인 Carbon Sink의 바이오 메탄올 구매 계약 체결	바이오 메탄올
Equinor와 파트너십을 체결	북유럽에서 발트해까지 순환 운항하는 선박에 그린 메탄올을 2023년 9월부터 2024년 상반기까지 공급	그린 메탄올
중국의 Goldwind와 랜드마크 오프테이크 계약을 체결	2026년부터 연간 500킬로톤의 그린 메탄올을 확보	그린 메탄올
상하이국제항만그룹(SIPG)과 MOU체결	상하이항 메탄올 선박 연료 프로젝트 추진	메탄올
독립 회사인 C2X에 초기 투자 진행	C2X는 그린 메탄올을 대규모로 생산하기 위한 자산을 구축, 소유 및 운영할 예정이며 2030년부터 연간 300만 톤의 친환경 연료를 생산할 계획임	그린 메탄올

자료: 저자 정리

2. CMA CGM

CMA CGM은 2022년 7월에 TotalEnergies가 공급한 바이오연료를 선박 간 환적을 통해 벙커링하였다. 바이오연료는 24%의 2세대 폐기물 기반 ISCC 인증 UCOME(사용된 식용유 메틸 에스테르)와 혼합된 VLSFO로 만 들었다.⁴⁸⁾

2022년 9월, CMA CGM은 에너지 전환을 추진하기 위해 5년간 15억 달러의 투자 기금을 조성하고 전담팀 구성하겠다고 밝혔다. 조성된 기금은 재생 에너지 개발과 생산 투자, 항만터미널·창고·트럭의 탈탄소화 가속화, 최첨단 혁신을 위한 프로젝트 지원과 시범 및 출시, 임직원 업무와 이동에서의 에너지 효율성 향상 등 총 4개 분야에 투자될 예정이다. 이 가운데

48) Decarbonisation Technology(2022.9.20.)(검색일: 2024.2.15.)

친환경 연료와 공급 확보 관련 분야는 재생 에너지 개발과 생산과 투자 분야이다. 구체적인 추진 계획으로는 Salamander 프로젝트를 통해 2026년부터 연간 11,000톤의 2세대 바이오메탄을 생산하는 것과 Engie와 파트너십을 통해 2028년까지 연간 20만 톤의 재생 가스 생산을 목표로 하는 것이다. 그리고 Titan과 함께 개발한 바이오메탄 생산 및 액화 프로젝트는 2025년까지 최대 10만 톤을 생산할 예정이며, 2027년까지 생산량이 두 배로 늘릴 계획이다. 또한 Fos의 Jupiter 1000 프로젝트 파트너로서 선박용 저탄소 e-메탄 대량 생산 수단을 위해 컨소시엄과 계속 협력하고 가스 네트워크 탈탄소화 및 특정 재생 에너지의 간헐적 특성 관리 문제에 대한 솔루션을 제공할 계획이다.⁴⁹⁾

2024년 1월에는 중동 최대 재생 에너지 회사 중 하나인 마스다르(Masdar)와 친환경 선박 연료 공급을 위한 장기 파트너십을 체결했다. 해당 파트너십을 통해 CMA CGM은 2025년부터 2028년까지 이중 연료 선박을 위한 그린 대체 연료를 공급 받기로 했다. 또한 양사는 그린 수소 및 암모니아 생산 협력 기회 확대도 지속해서 논의할 예정이다.⁵⁰⁾

〈표 4-2〉 CMA CGM 친환경 선박연료 확보 전략

추진 전략	내용	연료 종류
TotalEnergies 연료 공급 계약 체결	대만의 전기 연료(eFuel) 생산뿐만 아니라 e-암모니아 및 e-메탄을 등 광범위한 친환경 연료 공급에 대한 모색	전기연료, e-암모니아, e-메탄을 등 친환경 연료
Salamander 프로젝트 진행	2026년부터 연간 11,000톤의 2세대 바이오메탄을 생산	혼합 바이오연료유
Engie와 파트너십 체결	2028년까지 연간 20만 톤의 재생 가스 생산	재생 가스
Titan과 프로젝트 진행	바이오메탄 생산 및 액화프로젝트, 2025년까지 최대 10만 톤 생산을 목표로 함	바이오메탄
Fos의 Jupiter 1000 프로젝트	선박용 저탄소 e-메탄 대량 생산 수단을 위	e-메탄

49) CMA CGM 보도자료(2022.9.4), pp.1~2.

50) 마스다르 홈페이지(2023.1.30.)(검색일: 2024.2.15.)

트 파트너로서 협력 추진	해 협력을 지속함	
중동의 재생 에너지 회사 마스다르(Masdar)와 친환경 선박 연료 공급을 파트너십을 체결	2025~28년에 이중연료 선박을 위한 그린 대체 연료 공급, 그린 수소 및 암모니아 생산 협력 기회 확대 논의 등	그린 메탄올

자료: 저자 정리

3. 에버그린(Evergreen)

대만선사 에버그린은 2023년 24척의 메탄올 이중 연료 컨테이너선을 발주했다. 그리고 코펜하겐 인프라스트럭처 파트너스(CIP)와도 탄소중립 전기연료(eFuel) 생산 및 사용을 공동으로 개발하기 위한 양해각서(MOU)를 체결했다. CIP는 수소기반 해양 연료 개발 등 그린필드 재생에너지 분야에서 활발히 활동하는 기업이다. 이번 협력으로 양사는 해상 풍력을 기반으로 한 대만의 전기 연료(eFuel) 생산뿐만 아니라 e-암모니아 및 e-메탄올 등 광범위한 친환경 연료 공급에 대한 모색 등 여러 측면을 포함하고 있다.⁵¹⁾ 2023년 4월에는 싱가포르항에서 ExxonMobil로부터 선박 대 선박 환적을 통해 혼합 바이오연료유를 공급받았다. 이 해양 바이오연료유는 기존의 0.50% 황 연료와 최대 25%의 폐지방산 메틸 에스테르(FAME)를 혼합한 것이다.⁵²⁾

최근에는 중국 상하이항의 모든 공공 터미널을 독점 운영하는 상하이국제항만그룹(SIPG)과 상하이항 선박용 그린 메탄올 연료 공급에 관한 협력 양해각서를 체결했다. 이에 따라 SIPG는 2026년과 2027년에 에버그린의 이중 연료 메탄올 선박을 위한 그린 메탄올을 조달, 공급 및 병커링 서비스를 담당하게 된다.⁵³⁾

51) Bioenergy(2023.10.27.) (검색일: 2024.2.15.)

52) Safety4Sea(2023.6.21.) (검색일: 2024.2.15.)

53) Offshore Energy(2024.1.16.) (검색일: 2024.2.15.)

〈표 4-3〉 에버그린 친환경 선박연료 확보 전략

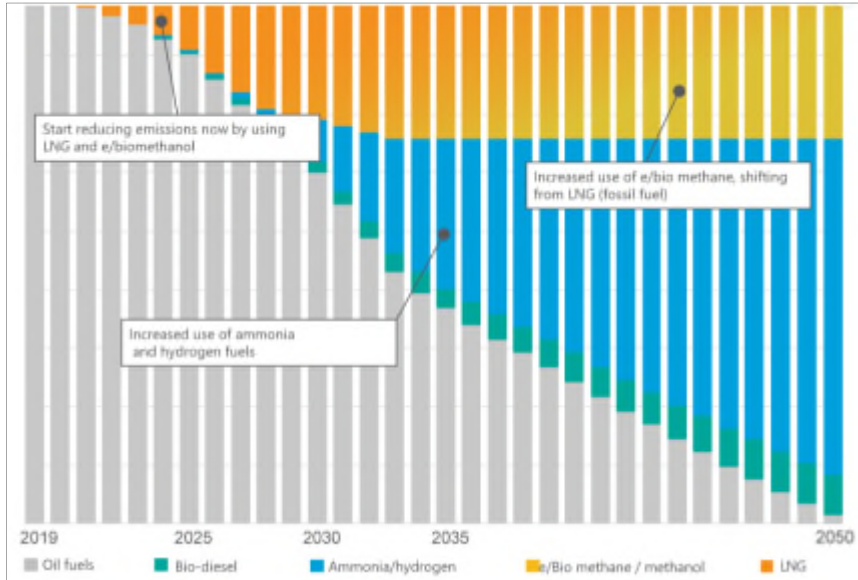
추진 전략	내용	연료 종류
코펜하겐 인프라스트럭처 파트너스와 MOU 체결	대만의 전기 연료(eFuel) 생산뿐만 아니라 e-암모니아 및 e-메탄올 등 광범위한 친환경 연료 공급에 대한 모색	전기연료, e-암모니아, e-메탄올 등 친환경 연료
ExxonMobil과 연료 공급 계약 체결	싱가포르항에서 선박 대 선박 환적을 통해 해양 바이오연료유 혼합물을 공급	혼합 바이오연료유
상하이국제항만그룹(SIPG)과 MOU 체결	2026~27년에 에버그린의 이중 연료 메탄올 선박을 위한 그린 메탄올을 조달, 공급 및 벙커링 서비스를 담당	그린 메탄올

자료: 저자 정리

4. MOL

MOL은 다양한 선종에 대해 최적 연료를 모색하고 있다. 선종 및 항로에 따라 최적의 연료가 다르다는 것을 전제로 암모니아, 수소 등의 차세대 연료 도입과 더불어 LNG 도입 추진을 목표로 하고 있다. MOL은 LNG 연료의 경우 즉시 활용할 수 있는 저탄소 배출 연료로 여기고 있으며 바이오연료는 단기 및 중장기적 방안으로 엔진 개조 없이 현 선박 연료 인프라에 적합한 연료라고 판단했다. 또한 암모니아는 CO₂를 배출하지 않기 때문에 화석연료를 대체할 수 있는 대안인 동시에 수소를 운반하는 수소 운반체로서도 주목하고 있다. 수소 연료와 함께 장기적인 관점에서 미래 선박 연료로서 고려하고 있다.

〈그림 4-1〉 MOL의 연료별 선대 구성



자료: MOL 홈페이지(검색일: 2024.2.15.)

MOL은 2019년 9월에는 ‘탄소 포집 및 재사용(CCR) 연구 그룹’에 가입하고 ‘배출 제로 대체 선박 연료와 관련된 산업 간 실무 그룹’을 발족했다.⁵⁴⁾ 실무 그룹은 현재 상선의 주류 연료인 화석 연료의 대안으로 합성 메탄을 사용하여 국제 해운 가치 사슬에서 CO₂ 배출을 줄이는 것과 선박용 메탄 연료 도입 및 공급망 구축을 목표로 하고 있다.

또한 바이오연료 확보를 위해 2022년 4월에 MOL이 전체 지분을 소유한 MOL Chemical Tankers Pte. Ltd.(MOLCT)과 무역 회사인 Trafigura Pte Ltd 간 선박 연료 공급 합작 회사인 TFG Marine Pte Ltd와 MOU를 체결했다. 이번 MOU를 바탕으로 전 세계 병커링항의

54) CCR 연구그룹은 산업계에서 발생하는 CO₂와 재생에너지 유래 수소를 결합해 생성되는 합성메탄 등 대체에너지를 제공함으로써 화석연료 사용을 줄이기 위한 효과적인 탄소중립 대책을 제안하고, 환경보호에 기여한다는 목적으로 설립됐으며 2050년까지 새로운 에너지 공급체계를 구축하는 것을 목표로 함

MOLCT 운항 선박에 대한 바이오디젤연료(BDF)의 공급에 대한 공동 연구를 수행한다. 공동 연구의 일환으로 MOLCT가 운영하는 케미컬 탱커 '니세코 갤럭시(Niseko Galaxy)'에 TFG Marine이 공급한 BDF를 사용하여 해상 테스트를 실시했으며 약 200톤의 BDF가 2023년 3월 초 네덜란드 로테르담 항에 병커링 되었으며, 선박이 미국 걸프 연안을 항해하는 동안 해상 테스트가 완료됐다. 테스트를 위해 공급된 TFG Marine의 BDF는 선박의 디젤 엔진을 개조할 필요가 없었으며 BDF 30%와 기존 중유 70%를 혼합하여 사용하면 CO2 배출량을 25~30% 줄일 수 있을 것으로 예상된다.⁵⁵⁾

그리고 2022년에는 메탄을 생산업체인 Mathanex의 자회사이자 메탄을 운송업체인 WFS의 지분 40%를 확보했다. 이를 통해 MOL은 재생 메탄올을 포함해 메탄올 연료의 상용화를 앞당기고자 한다.⁵⁶⁾ 또한 암모니아 연료 생산 투자의 일환으로 자회사인 MOL Clean Energy USA는 Ascension Clean Energy 메가 프로젝트에 합작 투자 주주로 참여했다. Ascension Clean Energy는 발전, 병커 연료 및 수출 시장을 대상으로 연간 700만 톤 이상의 CCS 기반 암모니아를 생산할 예정이다.

이 외에도 싱가포르에서는 쉘브론과 친환경 선박연료와 기타 기술 활용에 중점을 두고 전략적 파트너십을 체결하기로 합의했다. 이를 통해 MOL은 장기간 용선된 유조선에 차세대 연료 활용, 풍력, 전기 등 탈탄소 신기술 도입 등 가능한 모든 수단을 연구하고 이를 바탕으로 향후 비즈니스의 다른 부분으로 확대할 계획이다. 또한 호주에서는 뉴캐슬항만과 전해수소 및 암모니아 생산시설인 Clean Energy Precinct 개발에 협력할 계획이다. 매년 300척 이상의 MOL 선박이 뉴캐슬항에 입항하고 있기 때문에 연료 공급망 구축 및 병커링 대안을 마련하기 위해서이다.⁵⁷⁾

55) MOL 홈페이지(검색일: 2024.2.15.)

56) Offshore Energy 홈페이지(2022.2.3.), (검색일: 2024.2.15.)

2023년 2월에는 Air Water사와 액화바이오메탄(Liquefied Biomethane, LBM)의 시험적 사용에 대한 공동연구 수행을 내용으로 한 MOU를 체결했다.⁵⁸⁾ 이 공동연구는 일본 환경부가 승인하고 Air Water사가 추진하는 LBM 기술 연구개발 프로그램의 일환으로 수행되며 양사는 기존 육상 및 선박 인프라를 이용해 운반, 공급, 사용 가능성에 대해 테스트할 예정이다.

〈표 4-4〉 MOL 친환경 선박연료 확보 전략

추진 전략	내용	연료 종류
CCR 연구그룹 가입	새로운 에너지 공급체계 구축을 목표로 연구에 참여함	합성메탄 등
무탄소 선박 연료와 관련된 산업 간 실무 그룹 발족	선박용 메탄연료 도입 및 공급망 구축을 목표로 함	메탄연료
TFG Marine Pte Ltd와 MOU 체결	MOLCT 운항 선박에 대한 바이오디젤연료(BDF)의 공급에 대한 공동 연구를 수행함	바이오디젤연료
메탄올 운송업체인 WFS에 지분 투자	WFS의 지분 40%를 확보	메탄올
Ascension Clean Energy 메가 프로젝트에 합작 투자	연간 700만 톤 이상의 CCS 기반 암모니아를 생산 프로젝트에 투자함	CCS 기반 암모니아
쉐브론과 MOU 체결	친환경 선박연료와 기타 기술 활용에 연구에 중점을 두고 파트너십 구축함	풍력, 전기 등
뉴캐슬항만 협력	미국 뉴캐슬항만과 Clean Energy Precinct 개발에 협력함	전해수소 및 암모니아
Air Water사와 MOU 체결	액화바이오메탄 시험적 사용에 대한 공동연구를 수행함	액화바이오메탄

자료: 저자 정리

57) Ammonia Energy Association 홈페이지(검색일: 2024.2.15.)

58) LBM은 홋카이도 도카치 지역의 소 분뇨를 통해 생산할 계획임

제2절 해외 관련 정책 사례

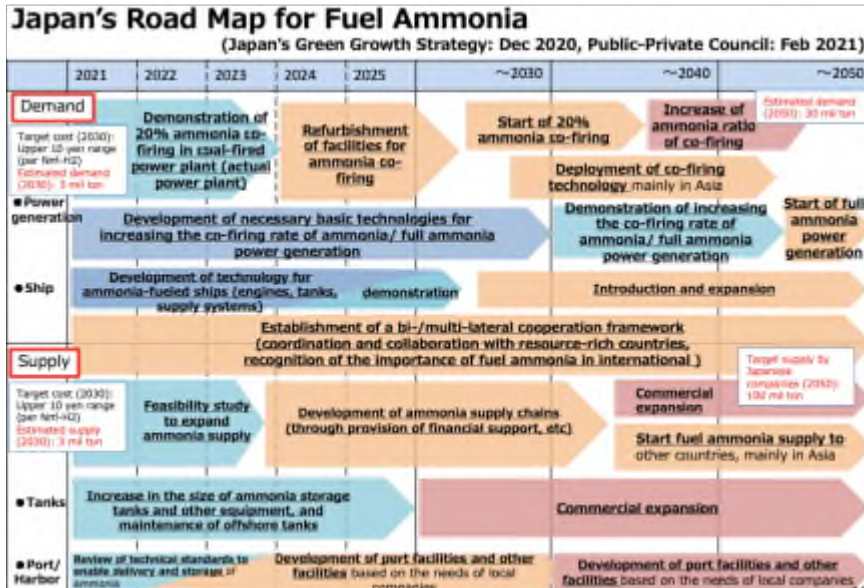
1. 일본의 친환경 선박 연료 정책

일본 정부는 온실가스 배출 제로를 달성하기 위해 2050년까지 약 30조 엔(2,200억 달러)을 투자할 계획이다. 또한 선사 및 조선소와 협력하여 2026년에 암모니아 연료 선박, 2027년에 수소 연료 선박을 시범 운항하고, 각각 2028년, 2030년 이후에 상업 운항하는 것을 목표로 하고 있다.

2021년 2월 일본 경제산업성은 암모니아 선박연료 및 화력발전에 중점을 둔 암모니아 연료 로드맵을 발표했다. 일본 정부는 2030년까지 300만 톤의 청정 암모니아를 수입하고, 2050년까지 3,000만 톤으로 수요가 증가할 것으로 예상하며 일본 기업은 현재 공급망 전반에 걸쳐 투자하고 있다. 경제산업성의 로드맵은 2050년까지 일본 기업이 연간 1억 톤의 청정 암모니아를 공급할 것으로 전망했다. 또한 2025년까지 암모니아 연료 선박을 개발 및 실증을 추진하고 2030년부터는 도입 및 확대할 계획이다.⁵⁹⁾

59) Trevor Brown(2021.2.25.)(검색일: 2024.2.15.)

〈그림 4-2〉 일본의 암모니아 연료 로드맵



자료: Trevor Brown(2021.2.25.)(검색일: 2024.2.15.)

2021년 8월 일본 신에너지 및 산업기술 개발 기구(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)는 ‘액화 수소 공급망 상용화 실증 프로젝트’를 위해 일본 정부의 녹색혁신 기금의 일부를 Japan Suiso Energy, Ltd.(JSE)⁶⁰⁾, 이와타니(주), 에네오스(ENEOS) 등에 보조금을 지원했다. 이 프로젝트를 통해 JSE는 연간 3만 톤의 수소를 포함해 대규모 수소 액화 및 운송 기술을 개발하고, 수소 생산, 액화, 호주 수출, 해상운송 및 수입을 포괄하는 글로벌 액화수소 공급망을 확보할 계획이다. 2023년 9월, JSE는 K-Line, MOL, NYK 등 일본 선사 세 곳과 JSE Ocean⁶¹⁾에 투자를 결정했다. 이들은 JSE Ocean을 통해 액

60) 액화수소 국제 공급망 연구, 기획, 관리, 투자를 목표로 2021년에 설립됐으며 가와사키 중공업이 66.6%, 이와타니가 33.4%의 지분을 보유하고 있음

61) 대규모 액화수소 운반선을 활용한 액화수소 해상운송 연구를 위해 2023년 1월에 설립됨

화수소의 해상운송을 상업적 규모로 구축할 예정이다.⁶²⁾

일본 국토교통성은 2022년에 해운업계 탈탄소화를 위한 민관협의체를 발족했다. 동 협의체에는 일본유센(Nippon Yusen), 가와사키기선(Kawasaki Kisen), 일본 최대 조선사인 이마바리조선(Imabari Shipbuilding) 등이 참여했으며 암모니아나 수소를 연료로 사용하고 이산화탄소를 거의 배출하지 않는 '무배출 선박'의 사용을 촉진하기 위해 노력할 계획이다. 가와사키 중공업(Kawasaki Heavy Industries) 등은 수소 엔진을 개발할 예정이고 일본 유센(Nippon Yusen)과 무역 회사 이토추(Itochu)는 암모니아 연료 선박을 연구하고 있다. 일본 정부는 10년간 350억엔 규모의 재정 지원을 할 예정이다.⁶³⁾

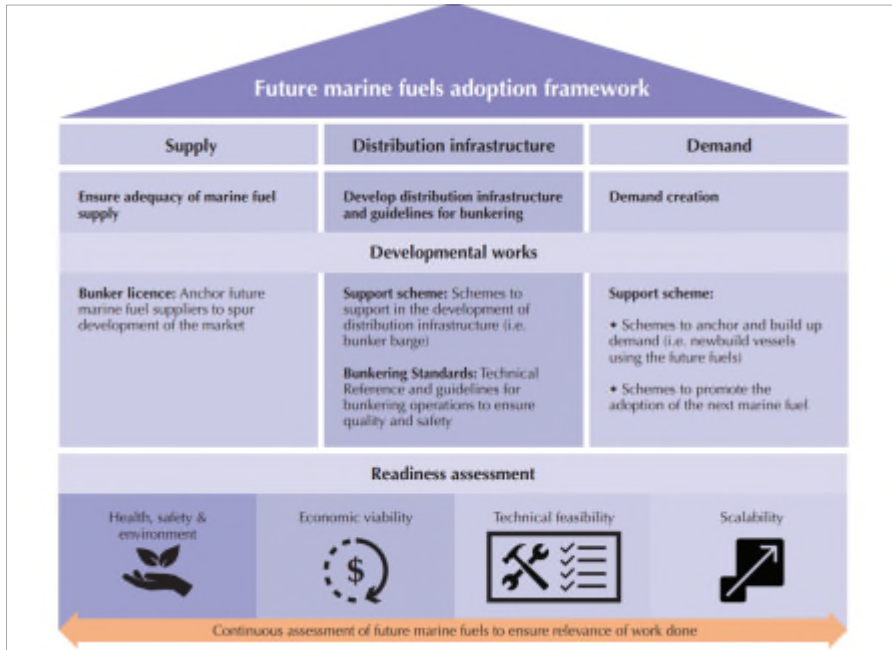
2. 싱가포르 해사항만청의 미래 해상연료 적용 체계

싱가포르는 바이오연료, 메탄올, 암모니아 및 수소 등의 저탄소·무탄소 선박 연료를 공급하기 위해 다중 연료 병커링 전환을 위해 노력할 계획이다. 싱가포르 해사항만청(Maritime and Port Authority, MPA)은 특정 연료 유형을 선택하고 있지는 않으나 수소와 암모니아 및 e-메탄올, 바이오 LNG 연료가 국제해운분야 탈탄소화의 중장기적 대안이 될 것으로 판단했다. 또한 해운 업계와 다중 연료 전환이 가능할 수 있도록 협력하고 있으며 미래 해상연료 적용 체계를 다음과 같이 설계했다.

62) Maritime Professionals(2023.10.9.)(검색일: 2024.2.15.)

63) Nikkei Asia(2022.7.7.)(검색일: 2024.2.15.)

〈그림 4-3〉 싱가포르 해사항만청의 미래 해상연료 적용 체계



자료: MPA&Maritime Singapore(2022), p.29

위의 전략을 세부적으로 살펴보면 공급 측면에서 해양 연료의 적절한 공급을 보장하기 위해 미래의 해양연료 공급업체를 확보할 계획이며, 인프라 측면에서는 병커링을 위한 보급 인프라 및 지침을 개발할 계획이다. 또한 수요 창출을 위해 신조선박 등을 지원하고, 차세대 해양연료 촉진 등을 지원할 계획이다.

싱가포르 해사항만청이 저탄소·무탄소 연료 전환에 있어 중점을 두고 있는 것은 기술 및 R&D, 공급, 규정 및 표준개발, 수요, 자금조달, 기술 개발 및 국제협력과 파트너십 등이다. MPA는 미래 연료 전환 R&D를 촉진하고 산업을 활성화하기 위해 관련 업계 등과 파트너십을 맺어 타당성 조사 및 테스트를 수행하고 있다. 연료별 협력 파트너 및 협력 내용 〈표 4-5〉와 같다.

〈표 4-5〉 MOL 친환경 선박연료 확보 전략

연료 종류	파트너	내용
암모니아	MPA, MISC Berhad, Lloyd's Register, Samsung Heavy Industries, MAN Energy Solutions, Yara International ASA	암모니아 해양 연료 개발을 위한 공동 개발 사업(Castor Initiative)
	ExxonMobil, Hoegh LNG, MAN Energy Solutions, JPPL, PSAC, Itochu Group	싱가포르 해양 연료로서 암모니아 공급망, 벙커 안전 및 잠재적 문제 등에 관한 연구
	Itochu Group, Pavilion Energy, Vopak Terminal, MOL, TotalEnergies, ITOCHU, Enex, MPA	싱가포르 암모니아 연료 공급망 공동 개발 가속화를 위한 MOU
	A.P. Moller – Maersk A/S, Fleet Management Limited, MMMDC, Keppel Offshore & Marine, The Maersk Mc-Kinney Moller Center for Zero-Carbon Shipping, Sumitomo Corporation, American Bureau of Shipping and K-Line	싱가포르 암모니아 벙커링 타당성 조사
	Awarded consortium: DNV, Surbana Jurong and Singapore Maritime Academy Partners: GCMD, JPPL, PSAC, Vopak Terminals, Oiltanking, Pavilion Energy, Ocean Network Express, Pacific International Lines, Hong Lam, Fratelli Cosulich, Kenoil, Eastern Pacific Shipping, Mitsui O.S.K. Lines, Nippon Yusen Kabushiki Kaisha, Asiatic Lloyd, Sembcorp Marine, Keppel, National Metrology Centre, ViswaLab, Veritas Petroleum Services	암모니아 벙커링 시범 테스트를 가능하게 하기 위한 안전 및 운영 범위 정의
	American Bureau of Shipping, Nanyang Technological University,	싱가포르의 암모니아 잠재력을 연구, 해상연료로서 암모니아의 공급, 벙커

	Ammonia Safety and Training Institute(ASTI)	링 및 안전 문제 탐색
메탄올	NTU, China Waterborne Transport Research Institute	중국과 싱가포르의 메탄올 연료 선박 기술 및 운영 타당성에 대한 공동 연구
	Billion Miles	메탄올 엔진 개발 검토를 위한 MPA 지원 프로젝트
재생 해양 연료(바이오연료, 바이오-LNG 등)	SMI, MESD CoE	싱가포르 항만 선박용 바이오연료의 환경적, 기술적, 운영적, 경제적 가능성 조사를 위한 호환성 연구
전기	MPA, SMI	세 개 항만 선박 전력화 프로젝트 공동 펀드에 900만 달러 지원
수소	Shell, Sembcorp Marine, LMG Marin	RO-RO선박의 연료전지 개발 및 설치 위한 시범테스트 협력
CCSU	MPA, MESD CoE, Kuok Singapore, PaxOcean, Pacific Carriers Limited, PACC Offshore Services Holdings	선박용 CCUS 개발을 위한 개념 증명 및 프로토타입 테스트

자료: MPA&Maritime Singapore(2022), pp.30-31.

그리고 싱가포르 해사항만청은 친환경 선박 연료의 병커링, 저장 및 보급 등을 위해 가치사슬 전반에 걸쳐 이해관계자와 협력하고 다양한 저탄소 연료 솔루션을 제공할 계획이다. 이해관계자에는 선사, 에너지 기업, 물류 기업, 저장 서비스 제공 기업 및 병커링 공급 기업 등이 포함된다. MPA는 기존 인프라의 일부를 개조하는 동시에 새로운 인프라에 대한 투자를 통해 미래 수요에 맞춰 연료 공급을 확대할 전망이다.⁶⁴⁾

MPA는 미래 선박연료에 대한 병커링 지침을 개발하기 위해 업계 및 관련 부처 등과 ‘미래 연료 항구 네트워크(Future Fuels Port Network)’를 구축했다. 이러한 지침 마련을 통해 저탄소·무탄소 연료의 안전한 운송과 병커링이 가능할 수 있도록 할 계획이다. 암모니아의 경우, MPA의 지원을 받아 설립된 비영리단체인 글로벌해양탈탄소화센터(Global Center for

64) MPA&Maritime Singapore(2022), p.31.

Maritime Decarbonisation)가 싱가포르에서 암모니아 병커링 시범사업을 가능하게 하기 위해 안전 및 작동범위 정의를 위한 연구를 제안했다. GCMD는 또한 연구 결과 및 권장 사항에 대한 의견을 수렴하기 위해 업계 컨설팅 및 조정 패널을 구성할 예정이다. 장기적으로 암모니아 병커링이 운영될 시, MPA는 이해관계자와 협력하여 암모니아의 안전한 병커링에 대한 일련의 기술 참조 지침을 개발하고 조화로운 글로벌 표준을 달성하기 위해 국제 파트너와 협력할 계획이다. 한편 MPA는 해양 산업에서 수소와 수소 운반체의 향후 채택 가능성을 고려해 다양한 정부 기관과 협력하여 토지 확보, 인프라 및 자원 요구 사항을 평가하여 수소의 수입, 저장, 유통 및 운송을 시험하는 데 필요한 생태계를 구축하고 있다.⁶⁵⁾

또한 싱가포르의 다양한 부문에 걸쳐 미래 연료에 대한 수요 예측, 규제 인센티브 및 안전 표준을 연구할 계획이다. 이와 함께 싱가포르를 녹색 해양 금융 허브로 육성 및 녹색 금융 옵션 상품을 확대하고 있다. 그리고 업계 파트너와 협력하여 저탄소·무탄소 연료 수요에 따른 새로운 직무 역할 및 기술 요구 사항을 식별 및 계획하고 기업이 싱가포르의 저탄소 및 제로 탄소 병커링 허브 개발을 지원하는 데 필요한 기술과 지식을 갖춘 인력을 확보할 수 있도록 지원할 것이다.⁶⁶⁾

끝으로 MPA는 미래 연료의 안전하고 원활한 운영을 보장하기 위해 병커링 표준을 전 세계적으로 일관되게 채택하는 것이 중요하다고 인식하고, 로테르담항 및 일본 국토교통부와 함께 2020년 10월에 ‘미래 연료 항구 네트워크(Future Fuels Port Network)’을 구성하기 위한 협력 양해각서(MOU)를 체결했다. FFPN은 미래 해양 연료에 대한 표준을 탐구하고 다양한 회원의 지식과 네트워크를 공유해 미래 연료 개발을 촉진하기 위한 로드맵을 개발했다. 로드맵에는 가능한 공동 병커링 시범 운항 등이 포함된다. 또한

65) 위의 책, p.33.

66) 위의 책, p.34

2021년 6월에는 호주와도 MOU를 맺어 '저탄소 해양 및 해운 이니셔티브' 발족을 발표했다. 이니셔티브의 일환으로 양국은 저탄소 해상 연료 및 기술 시범 및 상업 프로젝트에 각각 1,000만 달러를 지원하기로 합의했다.⁶⁷⁾

3. Zero-Emission Shipping Mission 로드맵

미션 이노베이션(Mission Innovation)⁶⁸⁾ 2.0의 일환으로 2021년 6월에 시작된 Zero-Emission Shipping Mission은 2030년까지 무탄소 배출 연료, 선박, 연료 기반 시설을 개발, 시연 및 배치하기 위해 국가, 민간 부문, 연구 기관 및 시민사회가 참여하고 있는 글로벌 공공-민간 프로젝트이다. 동 미션은 12개의 회원으로 구성되어 있으며 덴마크, 노르웨이, 미국 정부, 글로벌해양포럼(Global Maritime Forum), 머스크 탄소제로해운센터(Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping) 등이 공동으로 리드하고 있다.

〈표 4-6〉 Zero-Emission Shipping Mission 회원

Co-lead	핵심 미션 회원	미션 지원 그룹
• 덴마크: 산업부, 경영재무부, 기후에너지부, 외교부 • 노르웨이: 기후환경부 • 미국: 에너지부 • 글로벌해양포럼: 제로화 연합을 대표 • 머스크 탄소제로해운센터	• 영국: 교통부 • 모로코: 에너지전환 및 지속 가능개발부 • 인도: 과학기술부 • 싱가포르: 해사항만청	• 프랑스: 해양부 • 가나: 해사청 • 한국: 산업통상자원부

자료: Zero-Emission Shipping(2022), p.8.

동 프로젝트는 선박, 연료 생산 및 항만 인프라 등 전체 가치 사슬에 중

67) 위의 책, p.34

68) 10년 간 청정 에너지 개발 및 활용 확대에 대한 투자를 촉진하는 글로벌 이니셔티브임

점을 두고 있으며 목적에 적합하고 실현 가능한 선박을 도입하는 것이 목표이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 선박, 연료, 연료 공급 인프라 등 세 가지 축으로 미션을 구성했다. 첫째, 선박의 경우 2030년까지 최소 200척의 선박이 무탄소 연료 사용하는 것이며, 둘째, 연료의 경우 2030년까지 그린 수소, 그린 암모니아 및 첨단 바이오연료 등 수소 기반 무탄소 배출 연료 등의 선박연료 소비량은 전 세계 선박의 최소 5%를 차지한다는 것이다. 셋째, 연료 공급 인프라의 경우 2030년까지 10개의 대규모 무역항이 최소 세 개 대륙에서 무탄소 배출 연료를 공급하는 것이다. 이를 바탕으로 5개의 혁신 그룹과 120개의 개별 혁신 궤를 포함해 로드맵을 수립했다.

5개의 혁신 그룹은 다음과 같다. 첫째, 안전 및 운영 위험관리이다. 새로운 연료의 취급 및 저장을 위한 안전, 지침, 교육 및 방법론에 필요한 혁신을 요구한다. 둘째, 정책 및 규제이다. 규제 또는 시장 인센티브를 창출하거나 알리는데 필요한 혁신이다. 셋째, 시장 개발, 비즈니스 모델 및 금융 혁신이다. 새로운 비즈니스 모델, 경제 모델링, 비용 동인의 재무적 식별 또는 보조금과 관련 자금 조달 매커니즘 등을 포함한 새로운 연료에 대한 경제적 준비 등을 포함한다. 넷째, 기술 개발 및 적응이다. 연료 및 인프라의 연구, 개발 및 보급에 필요한 혁신을 의미한다. 다섯째, 시장 분석이다. 혁신에는 선박, 연료 및 급유 인프라와 관련된 시장 지식 생성, 통합 및 보급을 포함한다. 로드맵은 이러한 혁신 그룹에서의 격차를 식별하고 이에 대한 솔루션을 제공한다.

제3절 시사점

1. 여러 연료 옵션 고려 및 단계적인 전략 수립 필요

글로벌 선사들의 친환경 선박 연료 공급망 확보 전략을 보면 연료에 대한 옵션을 다양하게 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

머스크는 메탄올에 집중해서 공급망 확보를 수립하고 있기는 하나 다른 선사들은 대부분 여러 연료에 대한 공급망 확보 전략을 추진하고 있었다. CMA CGM은 에너지 전환 투자 기금을 조성하고 전담팀을 구성하여 재생 에너지 개발 및 생산에 투자를 진행하고 있다. 그리고 바이오 메탄올과 바이오 메탄뿐만 아니라 그린 수소 및 그린 암모니아 생산에 협력 기회를 모색하고 있다. 에버그린은 전기연료 생산 및 공동개발 협력을 추진했으며 이와 함께 e-암모니아 및 e-메탄올 등 광범위한 친환경 연료 공급 등을 모색하고 있다. 또한 수소 기반 해양연료 개발 등 그린필드 재생에너지 분야에도 협력을 추진하고 있다. MOL은 선종 및 항로에 따라 최적의 연료가 다르다는 것을 전제하고 암모니아, 수소 등의 연료 도입과 함께 LNG 연료 촉진도 추진하고 있다. 그뿐만 아니라 바이오 연료 확보를 위한 협력도 추진했다.

글로벌 선사들의 친환경 선박연료 공급망 확보 조사를 보면 친환경 선박 연료 옵션을 다양하게 고려해야 한다는 것을 알 수 있다. 이처럼 친환경 선박연료의 옵션을 다양화함으로써 최적의 연료를 확보하는 것이 필요하다. 국적 선사들도 선종과 항로를 고려해 최적의 친환경 연료를 모색하고, 이를 토대로 단계적인 공급망 전략을 수립해야 할 것이다.

2. 여러 이해관계자와 함께 다양화 전략 추진 필요

글로벌 선사들의 친환경 선박 연료 공급망 확보 전략은 여러 이해 관계자들과 다양한 형태의 협력이 필요하다는 것을 시사한다.

머스크는 주로 에너지 기업과 메탄올 연료에 대한 투자개발 및 공급 계약을 체결했다. 이와 더불어 일본 요코하마시와도 협력해 병커링 허브 구축을 위한 타당성 검토와 개발 협력을 체결하기도 했으며 직접 투자를 통해 그린 메탄올 생산을 위한 자회사를 설립하기도 했다. CMA CGM은 에너지 기업과 협력해 바이오메탄 및 재생 가스, 저탄소 e-메탄 생산, 그린 메탄올 공급계약 등을 체결했다. 에버그린은 에너지 기업과 함께 e-fuel, e-암모니아, e-메탄올 등 친환경 연료 공급을 모색하고 있다. 또한 MOL은 배출 제로 대체 선박연료 관련 산업 간 실무그룹을 발족하고 무역회사, 에너지 회사 등과 친환경 선박연료 공급 계약 체결, 공동연구 추진, 병커링 시범 운영, 지분 투자, 기술 개발 령 협력 등 다양한 전략을 추진했다.

이와 같이 친환경 선박연료 공급망 확보를 위해서는 연료 기술에 대한 공동연구, 생산 투자, 병커링 시범 운영 등 다양한 전략이 필요하다. 또한 머스크와 MOL과 같이 친환경 선박 연료 관련 기업에 대한 지분 투자도 고려할 수 있다.

3. 미래 친환경 선박 연료 확보를 위한 국제 협력 추진 필요

글로벌 선사들의 친환경 선박 연료 공급망 확보 전략과 해외정책 사례를 보면 국제적 협력이 활발히 진행된다는 것을 알 수 있다. 이는 친환경 선박 연료를 개별 국가에서 자급자족하는 데에는 한계가 있으며 해당 연료가 모든 선박에 사용되기 위해서는 국제적인 기준이 필요하기 때문이다.

싱가포르 해사항만청, 일본 국토교통부, 로테르담항은 미래 연료 항구네트워크 구성을 위한 MOU를 체결하고 친환경 선박연료에 대한 표준 모색, 지식 공유, 공동 벙커링 시범 운항 등을 추진하기로 했다. 또한 싱가포르와 호주는 저탄소 해양 및 해운 이니셔티브를 발족해 해양연료 및 기술 시범 상업 프로젝트를 지원하기로 결정했다. 또한 덴마크, 노르웨이, 미국, 글로벌해양포럼, 머스크 탄소제로해운센터를 중심으로 Zero-Emission Shpping Mission이 운영되고 있다. 이는 글로벌 공공·민간 프로젝트로서 정부, 민간, 연구기관 등이 참여하고 있다. 또한 MOL은 새로운 에너지 공급체계 구축을 목표로 탄소 포집 및 재사용 연구 그룹에 가입했다.

친환경 선박연료 공급망 확보를 위한 국제협력은 지속적으로 확대 될 것이다. 녹색항로 구축 협력은 이러한 국제협력이 중요성을 더욱 증가시킨다. 우리나라도 정부와 민간이 공동으로 국제협력에 참여해 친환경 선박연료 공급망 확보를 추진해야 한다.

05

결론 및 정책 제언

제1절 결론

친환경 선박 연료 공급망에 대한 중요성이 확대되고 있는 가운데 본 보고서는 친환경 선박연료 동향과 수급 현황 등을 조사하고, 글로벌 선사의 친환경 선박연료 공급망 확보 전략을 분석했다,

친환경 선박 연료의 개념은 IMO의 선박 온실가스 감축을 위한 초기 전략과 연관되어 있다. 국제 해운 분야의 2030년 넷제로 목표를 달성하기 위해서는 저탄소 또는 무탄소 연료 전환이 필수적이며 IMO도 2030년까지 국제해운 에너지 총량의 최소 5%를 Zero 또는 Near-Zero 연료로 전환한다는 목표를 수립했다. 국내에서는 환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙에서 친환경적인 에너지를 “액화천연가스 등 공동부령으로 정하는 환경친화적인 에너지”에 해당하는 에너지로서 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG), 메탄올, 수소, 암모니아, 그 밖에 산업통상자원부 및 해양수산부 장관이 깨끗한 해양환경 조성을 위해 필요하다고 인정하는 에너지 등이라고 정의했다. 이에 본 보고서에서는 친환경 선박연료를 기존 선박연료 보다 탄소 함유량이 낮은 저탄소·무탄소 연료라고 정의했으며 향후 사용 가능성이 높은 연료로서 바이오연료, 메탄올, 암모니

아, 수소 등의 수급 동향 및 전망을 살펴봤다.

바이오 연료의 활용은 제한적이며 대부분 시범 프로젝트로 진행되고 있다. 그러나 향후에는 화석 연료와 바이오연료를 혼합한 연료를 상당부분 사용하는 선사가 늘어날 것으로 보인다. 암모니아는 이미 글로벌 시장이 확립되어 있으며 화석연료에서 생산된 암모니아를 농업 및 산업용으로 사용하기 위한 기존 인프라가 있다. 메탄올도 제조에 사용되기 때문에 대량의 메탄올이 전 세계적으로 운송되고 있다. 수소연료의 경우 현재까지는 탄소중립 수소는 전체 수소 생산량의 1% 미만에 불과하다.

친환경 선박연료의 수급은 점차 확대될 것으로 전망됐다. 해운 분야는 바이오연료, 수소, 암모니아와 같은 저탄소 연료를 통해 효과적으로 탄소배출을 저감할 수 있으며 특히 암모니아는 장거리 수송에 있어 중요한 연료로 전망됐다. 그리고 바이오연료는 2050년 총 선박 연료 수요의 약 20%를 차지하는 반면에 전기는 장거리 운송에 적합하지 않아 활용도가 미미할 것으로 보였다. 또한 2050년에는 암모니아와 수소가 주요 저탄소 선박연료로 활용될 것으로 전망됐다. IEA는 2050년 기준 해운분야 친환경 연료에서 암모니아, 수소, 바이오에너지가 각각 46%, 17%, 21%를 차지할 것으로 전망했다.

글로벌 선사의 친환경 선박연료 공급망을 확보 전략을 분석한 결과 이들은 특정 친환경 선박 연료에만 국한되지 않는 것으로 나타났다. 이들은 그린 메탄올, 혼합 바이오연료, e-암모니아, 풍력, 전기 등 다양한 연료를 확보하기 위한 전략들을 추진하고 있었다. 그리고 글로벌 선사들은 에너지업체, 항만청 등과 연료 공급 계약 체결, 공동연구, 생산시설 구축 등 다양한 전략을 추진하였다. 머스크의 경우 그린메탄올 생산을 위한 독립회사 C2X에 지분을 투자하기도 했다. 또한 친환경 선박연료 공급망 확보를 위해서 국제적 네트워크를 형성했다. 동 네트워크는 각 국가의 정부뿐만 아니라

기업, 연구 기관, 시민사회 등이 참여하고 있다.

이를 토대로 친환경 선박연료 공급망 구축 시 다양한 친환경 선박연료를 고려한 단계적 전략 수립, 여러 이해관계자와 다양한 전략 추진, 국제협력 확대 등이 필요하다는 것이 확인되었다.

제2절 정책 제언

1. 에너지 안보 역량 강화

(1) 친환경 선박연료 시장 동향 분석 및 모니터링 강화

친환경 선박연료의 안정적 공급망 확보를 강화하기 위해서는 해당 시장에 대한 지속적인 모니터링과 분석이 필요하다. 따라서 한국해양수산개발원, 한국해양진흥공사에서는 해운시장 동향 분석 시 친환경 선박연료 시장 동향에 대한 정보를 정기적으로 제공할 필요가 있다. 또한 친환경 선박연료에 대한 수요 및 생산과 수출입 물류 흐름에 대해서도 모니터링 및 분석을 수행해야 한다.

(2) 친환경 선박연료 수입 포트폴리오 전략 수립

우리나라는 친환경 선박 연료의 생산 단가에서 경쟁우위를 확보하기 어려워 수입을 통해 확보해야 한다. 따라서 친환경 선박연료 해외 수입에 대한 공급 체계를 구축해 나가기 위해 포트폴리오 전략을 수립해야 한다. 동 포트폴리오 전략에는 친환경 선박연료 옵션들을 고려해 단계별 전략을 수

립하는 것이 필요하다. 예를 들어 단기적으로는 메탄올, 중장기적으로는 암모니아 및 수소 연료에 대한 공급량 확보 전략을 수립한다. 또한 이를 바탕으로 해외 프로젝트에 적극 참여해야 한다.

2. 친환경 선박 연료 민관 협력 확대

(1) 친환경 선박 연료 협의체 구성 및 운영

친환경 선박, 연료 생산 및 항만인프라 등 전체 가치사슬에 참여하고 있는 이해관계자들을 대상으로 협의체를 구성 및 운영을 제안한다. 해당 협의체에서는 선박, 연료공급 및 인프라를 중심으로 미션을 수립하고 해결과제를 도출하도록 한다. 그리고 동 협의체를 통해 미래 친환경 선박연료 병커링 연구 및 시범사업을 추진한다. 친환경 선박연료는 그동안 수요와 공급 중 무엇이 우선해야 하는지에 대한 논쟁이 발생했다. 동 협의체에서는 이러한 논쟁을 불식시키고 생산·수요업계 간 협력을 통해 안정적으로 공급망을 구축하기 위해 협력해야 한다.

(2) 친환경 선박연료 생산 및 활용에 대한 정책적 지원

정부는 친환경 선박연료 생산 및 활용에 대해 정책적으로 지원하는 방안을 검토해야 한다. 친환경 선박연료 전환은 개별 기업의 미래 경영 전략일 뿐만 아니라 국가적으로도 탄소중립 목표 달성을 위한 장기 프로젝트이다. 또한 친환경 선박연료 확보는 국가의 에너지 전략과도 직결되기 때문에 정부의 정책적 지원이 필수적이다. 따라서 정부는 컨트롤 타워 역할을 수행하여 관련 이해관계자의 의견을 조정하고 친환경 선박연료 가치사슬 전반이 동반 성장할 수 있는 생태계를 조성해야 한다. 친환경 선박 연료의 생산, 공급 및 사용 등 분야별 로드맵 수립도 필요하다.

3. 친환경 선박 연료 공급망 구축을 위한 국제협력 확대

(1) 규제 협력

친환경 선박 연료에 대한 기준 및 규제에 대한 협력이 필요하다. 예를 들어 암모니아는 현재 IMO의 연료로 승인되지 않아서 모든 선박에서 암모니아를 사용하려면 개별 승인이 필요하다. 초기 시범 선박이 안전한 작동을 입증하고 제안자들이 암모니아를 선박 연료로 안전하게 사용하도록 보장하기 위해 IMO 내에서 새로운 코드가 개발되어야 한다. 따라서 정부는 IMO 회원국과 함께 암모니아 선박 연료에 대한 기준을 마련 및 도입하기 위해 협력해야 한다.

(2) 개발도상국과 협력 강화

친환경 선박연료 공급망을 확보는 그린 메탄올, 그린 암모니아 연료의 생산 지역을 확보해 안정적으로 친환경 선박연료를 공급하려는 것이다. 따라서 친환경 선박연료를 공급할 수 있는 공급처를 확보하여야 한다. 앞서 친환경 선박연료 생산 현황 및 전망을 살펴본 결과 개발 도상국에서 친환경 선박연료 생산 가능성이 확인되었다. 따라서 친환경 선박연료 확보를 위한 개발도상국과 협력 채널을 확대하고, 협력 사업을 발굴해야 한다.

참고문헌

국내 문헌

- 김경연(2001), “대체 에너지원으로 급부상하는 바이오연료”, 산업정보, LG주간경제, pp.22-27.
- 서용석 외(2023). “친환경 대체연료 기술개발 동향”, 「KEIT PD 이슈리포트」
- 송동근(2021), “고효율/친환경 선박: 환경오염 규제에 따른 친환경 연료 대체”, 혁신성장, NICE평가정보(주)
- 엄항섭(2023), “선박연료로서 메탄올의 현황 및 전망”, 「탈탄소화 국제해사 동향」, 제7권, 해양수산부·한국해사협력센터, pp.31-38.
- 임의순(2023), “친환경 연료의 국내 보급 상용화를 위한 정책 전략”, 2023 석유 컨퍼런스: 석유산업의 신성장 전략과 친환경연료의 역할 발표자료, 2023.12.8., 서울
- 최유광(2023), “선박 온실가스 감축전략 개정 결과”, 2023 국제해운부문 해양환경 정책설명회 발표자료, 2023.7.12., 부산
- 한동진(2023). “조선산업의 친환경 연료전환 동향”, 「이슈분석」, 제812호, KDB미래전략연구소, pp.29-73.
- 「환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙」 제3조
- 특허청(2022), 「수소선박」
- Ryan O’ Hayre et al., 「Fuel Cell Fundamentals」, 3rd Edition, John Wiley & Sons; 이제명(2020). “[전문가칼럼] 수소에너지 활용 친환경 선박 추진 기술과 그 동향”, 해양산업통합클러스터, 재인용

국외 문헌

IMO (2018), Initial IMO Strategy on reduction of GHG emission from ships, MEPC 304(72).

Kasper Brønlund Aagenæs&Thomas Didrik Oliegreen. (2022), 「Alternative Fuels in Shipping: Case study on Methanol and LNG」, Copenhagen Business School.

CMA CGM 보도자료(2022.9.4.), “CMA CGM creates a USD 1.5 billion Special Fund for Energies to accelerate the energy transition in shipping and logistics“

Hydrogen Council(2021), Hydrogen for Net-Zero: A critical cost-competitive energy vector

Deloitte(2023), Market Study & Location Assessment for Green Ammonia Production in India, Government of India Ministry of Renewable Energy & Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action.

IEA(2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector.

IEA(2023), The Role of E-fuel in Decarbonising Transport.

IRENA(2021), A Pathway to Decarbonise the Shipping Sector by 2050.

IRENA(2021), Innovation Outlook: Renewable Ammonia.

Lloyd’s Register(2023), Engine Retrofit Report 2023: Applying alternative fuels to existing ships.

Maersk(2023), Annual Report 2023

Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), The role for investors in decarbonizing global shipping, ESG By EDF

MPA&Maritime Singapore(2022), Decarbonisation Blueprint Working Towards 2050

World Bank(2023), The Potential of Zero-Carbon Bunker Fuels in Developing Countries.

Zero-Emission Shipping(2022), Industry Roadmap for Zero Emission Shipping

인터넷 자료

- 조선비즈(2022.11.19.), “선박 대체 연료로 바이오연료 주목, 수소는 연안수송에 적합”, https://biz.chosun.com/policy/policy_sub/2022/11/19/EMYWHDJUINE5DNMWKZSMW4QNAU/ (검색일: 2023.2.1.)
- 한국산업기술평가관리원(2020.2.6.), “[Ktech 이슈리포트] 선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향”, <https://m.blog.naver.com/ktechstory/221795690734> (검색일: 2023.2.1.)
- Ammonia Energy Association 홈페이지, <https://www.ammoniaenergy.org/articles/mitsui-o-s-k-lines-ammonia-part-of-new-environmental-strategy/> (검색일: 2024.2.15.)
- Bioenergy(2023.10.27.), “Evergreen and CIP partner to explore green shipping fuels”, <https://bioenergyinternational.com/evergreen-and-cip-partner-to-explore-green-shipping-fuels/> (검색일: 2024.2.15.)
- Bloomberg(2023.9.14.), “Billionaire Maersk Family Forms Green Methanol Firm for Shipping”, <https://www.energyconnects.com/news/renewables/2023/september/billionaire-maersk-family-forms-green-methanol-firm-for-shipping/> (검색일: 2024.2.15.)
- Decarbonisation Technology(2022.9.20.), “TotalEnergies Marine Fuels bunkers CMA CGM containership with sustainable marine biofuel”, <https://decarbonisationtechnology.com/news/632/totalenergies-marine-fuels-bunkers-cma-cgm-containership-with-sustainable-marine-biofuel> (검색일: 2024.2.15.)
- gCaptain Shipping(2022.11.16.). “Maersk Lines Up Latest Green Methanol Fuel Supply Partnership”, <https://gcaptain.com/maersk-lines-up-latest-partnership-on-green-methanol-fuel-supply/> (검색일: 2023.2.15.)
- GMI 홈페이지, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/green-hydrogen-market> (검색일: 2024.2.2.)
- GMI 홈페이지, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/hydrogen-market> (검색일: 2024.2.2.)

IEA 홈페이지, International Shipping, <https://www.iea.org/energy-system/transport/international-shipping> (검색일: 2024.1.16.)

IEA 홈페이지, <https://www.iea.org/reports/renewables-2021/biofuels?mode=transport®ion=World&publication=2021&flow=Consumption&product=Ethanol> (검색일: 2024.2.12.)

InsightAce 홈페이지, <https://www.insightaceanalytic.com/report/green-methanol-market/1524> (검색일: 2024.2.2.)

Maersk(2022.3.28.), “Maersk explores new ways to accelerate green fuel production”, <https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/28/maersk-explore-s-new-ways-to-accelerate-green-fuel-production> (검색일: 2023.2.15.)

Maritime Professionals(2023.10.9.), “Maritime Professionals(2023.10.9.)”(검색일: 2024.2.15.), <https://maritime-professionals.com/japan-establish-global-liquefied-hydrogen-supply-chain/> (검색일: 2024.2.15.)

마스다르 홈페이지(2023.1.30.), “Masdar and CMA CGM Sign Strategic Supply Partnership for Long-term Supply of Green Alternative Fuels”, <https://masdar.ae/en/news/newsroom/masdar-and-cma-cgm-sign-strategic-supply-partnership-for-long-term-supply-of-green-alternative-fuels> (검색일: 2024.2.15.)

Methanol Institute 홈페이지, <https://www.methanol.org/renewable/> (검색일: 2024.2.7.)

MOL 홈페이지, https://www.mol-service.com/en/clean_energy (검색일: 2024.2.15.)

Muhaamd Hamza Ashraf(2023.6.10.), “The Color Spectrum of Ammonia Production: Transitioning Towards a Cleaner Future”, <https://www.linkedin.com/pulse/color-spectrum-ammonia-production-transitioning-towards-ashraf> (검색일: 2024.1.25.)

Nikkei Asia(2022.7.7.), “Japan aims to demonstrate carbon-neutral ships in 2026”, <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Environment/Climate-Change/Japan-aims-to-demonstrate-carbon-neutral-ships-in-2026> (검색일: 2024.2.15.)

Offshore Energy 홈페이지(2022.2.3.), “MOL closes acquisition of Waterfront stake”, <https://www.offshore-energy.biz/mol-closes-acquisition-of-waterfront>

- stake/ (검색일: 2024.2.15.)
- Offshore Energy(2023.9.8.), "Maersk secures green methanol supply from Equinor", <https://www.offshore-energy.biz/maersk-secures-green-methanol-supply-from-equinor/> (검색일: 2024.2.15.)
- Offshore Energy(2024.1.26), "SIPG, Evergreen Marine sign green methanol supply deal", <https://www.offshore-energy.biz/sipg-evergreen-marine-sign-green-methanol-supply-deal/> (검색일: 2024.2.15.)
- Riviera News(2024.1.8.), "Clarksons: 45% of newbuilds ordered in 2023 alternative fuel capable", <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/clarksons-45-of-newbuilds-placed-in-2023-alternative-fuel-capable-79151> (검색일: 2024.2.1.)
- Reuters(2023.8.23.), "Shippers bet on green methanol to cut emissions, supply lags", <https://www.reuters.com/markets/commodities/shippers-bet-green-methanol-cut-emissions-supply-lags-2023-08-21/> (검색일: 2024.2.7.)
- Safety4Sea(2023.6.21.), "ExxonMobil, Evergreen Line complete a delivery of marine biofuel oil in the port of Singapore", <https://safety4sea.com/exxonmobil-evergreen-line-complete-a-delivery-of-marine-biofuel-oil-in-the-port-of-singapore/> (검색일: 2024.2.15.)
- Ship&Bunker(2023.4.25.), "INTERVIEW: CEO Soren Toft Sets Out MSC's View on Future Fuels", <https://shipandbunker.com/news/world/807156-interview-ceo-soren-toft-sets-out-mscs-view-on-future-fuels> (검색일: 2024.2.15.)
- S&P Global(2023.4.20.), "Global initiatives shaping the future of green methanol production", <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/chemicals/042023-global-initiatives-shaping-the-future-of-green-methanol-production> (검색일: 2024.2.7.)
- S&P Global(2023.9.11.), "Methanol's status as top future marine fuel in doubt due to cost, availability", <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/shipping/091123-methanols-status-as-top-future-marine-fuel-in-doubt-due-to-cost-availability> (검색일: 2024.12.)
- S&P Global Commodity Insights(2023.9.15.), "Feature: New US producers plan 4.4 million mt/year green methanol for shipping", <https://www.spglobal.com/>

commodityinsights/en/market-insights/latest-news/shipping/091523-new-us-producers-plan-44-million-mtyear-green-methanol-for-shipping (검색일: 2024.2.12.)

Statista 홈페이지, "Leading countries based on biofuel production worldwide in 2022" <https://www.statista.com/statistics/274168/biofuel-production-in-leading-countries-in-oil-equivalent/> (검색일: 2024.2.14.)

Statista 홈페이지, "Green ammonia market volume worldwide from 2019 to 2021, with forecasts from 2022 to 2030", <https://www.statista.com/statistics/1351122/global-green-ammonia-market-volume/#statisticContainer> (검색일: 2024.2.2.)

Trevor Brown(2021.2.25.), "Japan's Road Map for Fuel Ammonia", <https://www.ammoniaenergy.org/articles/japans-road-map-for-fuel-ammonia/> (검색일: 2024.2.15.)

일반사업 2022-16-02

**글로벌 선사의 미래 친환경 선박연료
공급망 확보 전략 조사**

인쇄 2024년 2월 27일

발행 2024년 2월 29일

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