조선산업의 친환경 연료전환 동향

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
한동진 전임연구원(djhan@kdb.co.kr)

Ⅰ. 선박의 친환경 연료 개요
Ⅱ. 선박의 친환경 연료전환 동향 점검
Ⅲ. 온실가스 규제하 한국 조선산업 경쟁력
Ⅳ. 시사점

국제해사기구와 유럽연합 등은 선박 배출 온실가스를 감축하기 위해 규제를 지속 강화 중이다. 특히 '23년 7월 국제해사기구는 선박의 온실가스 감축 목표를 기존 "2050년까지 2008년 온실가스 배출량 대비 50% 감축"에서 "2050년경 온실가스 배출 Net-Zero 실현"으로 강화하였고, 유럽연합도 '24년부터 해운을 배출권거래제에 포함하는 등 선박의 온실가스 배출을 강도 높게 규제할 예정이다. 이에, 해운선사들은 감속 운항 등으로 규제에 대응 중이나, 이는 단기 조치에 불과하며, 탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 궁극적으로 선박의 연료 전환이 필수적이다.

미래 선박 연료로 LNG와 친환경 원료로 생산된 메탄올, 암모니아, 수소 등이 거론되고 있다. 추진 기술과 인프라를 고려 시 당분간 메탄올과 암모니아가 경합하고, 수소는 저장 기술이 향상된 이후 대형선박에 적용될 것으로 예상된다. Bio-디젤과 LNG는 탄소중립 전 브릿지 연료로서 주도적으로 사용될 것으로 평가된다. 친환경 연료추진 기술은 LNG, 메탄올, 암모니아, 수소 순으로 개발되고 있으며, 조선업계와 엔진 제조사는 다양한 연료의 채택 가능성을 열어두고 친환경 연료추진 기술을 개발 중이다.

국내 조선업계의 건조 경쟁력은 중국과 일본 대비 우위인 것으로 평가되나, 중국이 LNG 운반선 등 한국이 주력으로 수주하고 있는 선종까지 수주를 확대하며 국내 조선업계를 위협하고 있는 실정이다. 친환경 연료추진 기술에 대한 적극적인 연구개발로 중국 등 경쟁국과의 기술 격차를 유지하여, 가격경쟁이 치열한 선종에서 선가를 차별화하고 건조 포트폴리오를 확대할 필요가 있다.

* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

Ⅰ. 선박의 친환경 연료 개요

❑ **선박 연료는 ❶기존 연료와 ❷대기 오염 물질이 적은 대체 연료로 구분되며, ❸대체 연료 중에서도 온실가스 규제에 대응할 수 있는 연료를 친환경 연료로 총칭**

○ (❶기존 연료) 대표적으로 사용되는 HSFO와 연료 내 황 함유량에 따라 LSFO, MGO, LSMGO로 구분

○ (❷대체 연료) 추진 기술이 개발된 LPG, LNG, 메탄올과 현재 개발 중인 암모니아, 수소 등으로 구분

○ (❸친환경 연료) 선박 온실가스 규제에 대응할 수 있는 연료를 총칭하며, 연료의 화학적 성질뿐 아니라, 연료 생산 단계에서 배출되는 온실가스까지 고려

〈표 1〉 **선박의 연료**

구 분		내 용
기 존 연 료	**HSFO** (High Sulphur Fuel Oil)	· 간단히 HFO라고도 하며, 고유황유로 벙커C유를 통칭 · 가장 많이 사용되는 유종으로 공해상을 항해 시 사용 · 황산화물(SOx)의 주범으로 황함유량 3.5%
	LSFO (Low Sulphur Fuel Oil)	· LFO라고도 하며, HSFO 대비 황함유량 낮음 · 입항 국가의 해양 대기오염 방지 등을 위해 근해에서 사용되며, HSFO 성능에 황함유량은 0.5% 수준
	MGO (Marine Gas Oil)	· 경유를 선박 엔진용으로 개질한 것으로 엔진의 초기 가동 시 또는 입항국의 영해 또는 정박 중에 사용. 황함유량은 0.5%
	LSMGO (Low Sulphur Marine Gas Oil)	· MGO보다 황 함유량이 낮은 연료로 황 함유량 0.1% · 특정 국가 항구에서 정박 중 사용
대 체 연 료	**LPG** (Liquefied Petroleum Gas)	· 주성분은 프로판(C_3H_8)과 부탄(C_4H_{10}) · 자동차 연료, 소형 가스버너 연료 등으로 사용
	LNG (Liquefied Natural Gas)	· 주성분은 메탄(CH_4) · 가정용 도시가스, 시내버스(압축천연가스, CNG) 등에 사용
	메탄올	· 상온에서 액상으로 존재하여 엔진 내 연료 공급이 쉬움 · 바이오 메탄올의 경우, 교토의정서('97)에서 채택된 이산화탄소 흡수원 상계제도에 따라 무탄소 연료로 분류
	암모니아	· 보관이 쉽고, 기존 인프라가 풍부하여 조기 실용화 기대 · 부식성, 독성, 강한 냄새를 가짐
	수소	· 탄소 발생이 없으나, 보관(영하 253℃)이 매우 어려움

자료 : 당행 작성

〈참고 1〉「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」에서의 환경친화적인 에너지

❑ (약칭 : 친환경선박법) 환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙 제3조

○ 제3조(환경친화적인 에너지) 법 제2조 제3호 나목에서 "액화천연가스 등 공동부령으로 정하는 환경친화적인 에너지"란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 에너지를 말한다.

1. 액화천연가스(LNG)	2. 압축천연가스(CNG)	3. 액화석유가스(LPG)
4. 메탄올	5. 수소	6. 암모니아
7. 그 밖에 산업통상자원부장관 및 해양수산장관이 깨끗한 해양환경조성을 위해 필요하다고 인정하는 에너지		

❑ 친환경 연료는 선박 온실가스 규제에 대응하는 연료로 대체 연료의 화학적 성질뿐 아니라, 연료의 생산부터 연소까지 배출되는 온실가스를 모두 고려하여 판단

○ 국제기구가 연료 연소 시 발생하는 온실가스뿐 아니라, 연료의 생산부터 연소까지 발생하는 온실가스 총량을 규제하며 실질적 탄소중립을 요구

- 현재 국제해사기구(IMO[1])의 규제는 연소 시 배출되는 온실가스만을 고려(❶Tank-to-Wake)하고 있으나, 점차 연료 생산 단계까지 고려(❷Well-to-Wake)한 규제를 시행할 예정이며,
- 유럽연합도 연료의 생산부터 연소까지(❷Well-to-Wake) 배출되는 연료의 온실가스 총량 규제를 '25년부터 시행할 예정

〈표 2〉 선박 연료 배기가스 배출 기준

구 분	내 용
Well to Tank(WtT)	연료의 생산부터 선박 연료 탱크 저장까지의 단계
❶Tank to Wake(TtW)	선박 연료 연소 시 발생하는 온실가스만 고려
❷Well to Wake(WtW)	연료의 생산, 이송, 운반, 저장, 벙커링[2], 연소까지 총 온실가스 배출량을 계산

생산	➡	이송/저장	➡	운반	➡	저장	➡	벙커링	➡	탱크	➡	연소
WELL TO TANK												
										❶TANK TO WAKE		
❷WELL TO WAKE												

자료 : 당행 작성

1) IMO : 국제해사기구(International Maritime Organization)
2) 선박의 운항에 필요한 연료유를 선박에 공급하는 행위를 의미

❑ **연료 생산 단계에서 탄소 감축이 가능한 연료는 e-연료와 Bio-연료 등이 있으며, 이 구분은 생산원료**(그린 전기, 바이오매스 등) **차이에 따른 것임**

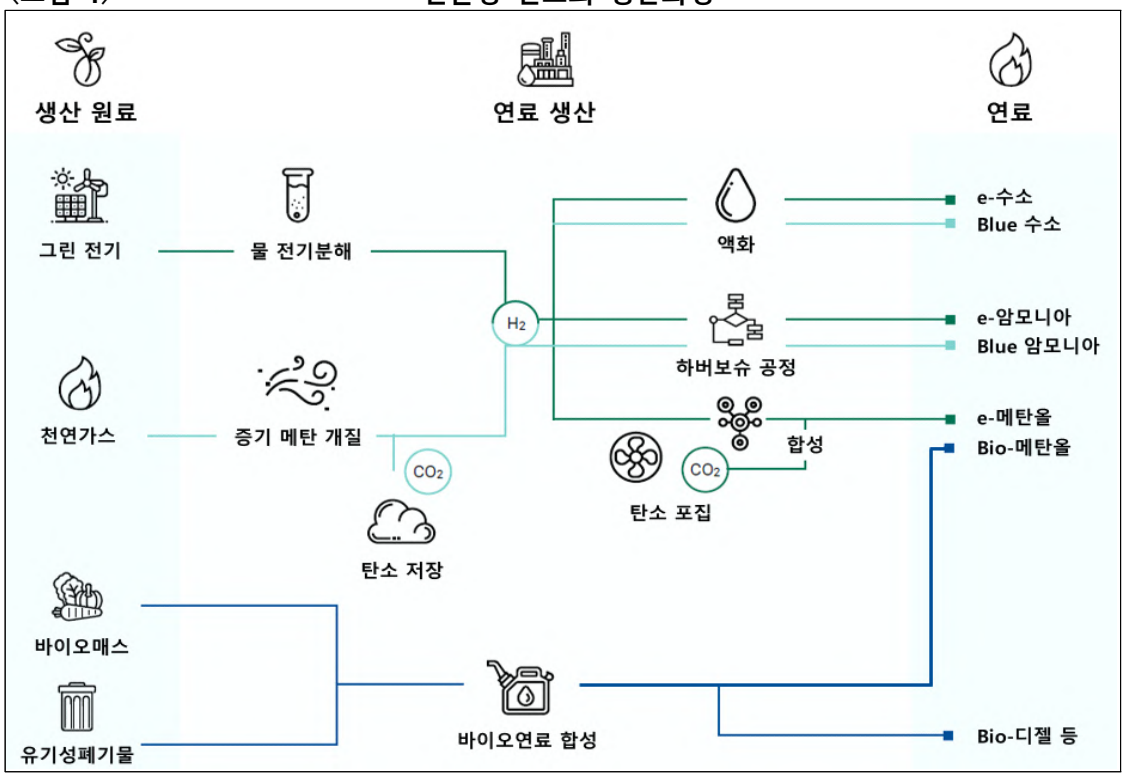
❍ (e-연료) 풍력, 태양열 등으로부터 생산된 전기로 물을 분해하여 생산과정 중의 탄소를 제거하여 생산된 연료(e-메탄올, e-암모니아, e-수소 등)를 의미

- 생산된 수소는 그 자체로 연료로 사용할 수 있고, 하버보슈 공정을 거쳐 e-암모니아를 생산하거나, 탄소와 결합하여 e-메탄올을 생산

❍ (Bio-연료) 바이오매스, 유기성 폐기물 등 생물학적 원료로부터 생산되는 친환경 연료로, 식물성 오일이나 동물성 지방 등을 사용하여 생산된 연료(Bio-디젤, Bio-메탄올 등)를 의미

- Bio-디젤, Bio-메탄올은 연료 내 탄소를 포함하나 연료 생산부터 연소까지 관점에서 저·무탄소 연료로 평가되어 선박 연료로 사용될 것으로 예상

〈그림 1〉 **친환경 연료의 생산과정**



자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022) 참고하여 당행 수정

❑ **미래 친환경 연료로 e-연료, Bio-연료 형태의 메탄올, 암모니아, 수소가 거론되고 있으며, 탄소중립 이전 브릿지 연료[3]로는 LNG와 Bio-디젤이 사용될 전망**

❍ e-연료와 Bio-연료 형태의 메탄올, 암모니아, 수소의 Well-to-Wake 기준 탄소 배출량은 기존 연료 대비 약 0~6% 수준으로, 온실가스 규제 대응에 적합

❍ LNG와 Bio-디젤 연료는 탄소를 포함하고 있어 탄소중립 전 브릿지 연료로서 주도적으로 사용될 전망

〈표 3〉 **연료의 생산-연소 단계별 배출량**

(단위 : gCO2eq/MJ)

생산원료	연료	WtT (Well-to-Tank)	TtW (Tank-to-Wake)	WtW (Well-to-Wake)
화석연료	수소(LNG 생산)❶	132.0	0.0	132.0
	암모니아(LNG 생산)❶	121.0	0.0	121.0
	메탄올(LNG 생산)❶	31.3	69.1	100.2
	HSFO❶	13.5	78.1	91.6
	LNG(오토 사이클)❶	18.5	65.4	83.9
	LNG(디젤 사이클)❶	18.5	57.7	76.2
	LPG❶	7.8	65.5	73.3
Bio-연료	Bio-디젤(Waste Mix)❷	△26.1	77.5	51.4
e-연료	e-메탄(디젤 사이클)❸	△52.1	57.7	**5.6**
	e-메탄올❷	△67.1	71.6	**4.5**
	e-수소❶	3.6	0.0	**3.6**
	e-암모니아❶	0.0	0.0	**0.0**

자료 : MAN Energy Solutions(2022), "Potential For Duel-Fuel Conversions of Marine Engines" 등
주 : ❶Fuel EU Maritime 기준 ❷IMO 기준 ❸Maersk MC-Kinney Moller Center 기준 참고

3) 국제기구의 환경규제 목표에 완전히 부합하진 않으나, 단계별 규제 기준을 충족하기 위해 사용될 것으로 예상되는 연료를 의미

❑ 특히, 기존 연료추진 선박의 브릿지 연료로 Bio-연료가 실질적 대안[4]으로 평가

❍ 현재 90% 이상의 선박이 기존 연료를 사용하고 있으며, 신조선박의 약 40%도 기존 연료추진 선박으로 수주되고 있음

❍ Bio-연료는 공급량이 적어 가격이 비싸나, 기존 연료 대비 탄소배출이 적으며 기존 연료추진 선박에 바로 사용 가능

- Bio-연료는 생물자원 등을 이용해 생산한 연료로 기존 선박유 대체 가능
- Bio-연료의 연간 생산량은 약 37백만톤으로 해운 연료 사용량(약 330백만톤) 대비 부족하며, 가격은 기존 연료 대비 약 3배 높음

❍ 현재 1, 2세대 Bio-연료가 주로 생산되고 있으며, 3세대는 확보 기술 난이도 높음

〈그림 2〉 **세대별 Bio-연료의 구분**

구분	1세대	2세대	3세대
원료	식량작물 (팜유, 옥수수, 대두유 등)	비식량원료 (목질계, 폐식용유, 동물유지 등)	비식량원료 (미세조류, 포집탄소, 수소 등)
특징	부존량은 국가별로 상이, 지속 가능성 이슈(식량경합성)	원료확보 제한적이나 탄소저감 효과 높음	원료는 거의 무제한이나, 확보 기술 난이도가 높음

*HVO라도 어떠한 원료를 사용하는 가에 따라 세대 구분이 달라질 수 있고, 이는 GHG intensity가 달라질 수 있음.

출처: 친환경 바이오연료 확대 방안

자료 : 한국선급(2023), "탄소중립 과정에서의 바이오 선박유"

❍ 선박에 사용할 수 있는 Bio-연료는 FAME, HVO, FT Diesel이 등이 존재

〈표 4〉 **선박에 사용 가능한 대표적인 Bio-연료**

(단위 : gCO2eq/MJ)

구 분	내 용
FAME (Fatty Acid Methyl Esters)	· 가장 일반적인 유형의 Bio-디젤로, MGO 대체 가능 연료로 알려짐 · 유채씨유, 팜유, 사용된 요리유 등을 원료로 사용
HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)	· Renewable Diesel로 불리는 Bio-디젤로, 대부분의 선박 엔진에 적용 가능 · 식물성 유지, FOG(Fat Oil and Greases) 등을 원료로 사용
FT Diesel (Fischer-Tropsch)	· 화석연료 완전 대체 또는 높은 비율로 혼합하여 사용 가능한 연료 · 농업 잔류물, 목질계 바이오매스 등 다양한 원료 사용 가능

자료 : 한국선급(2023), "탄소중립 과정에서의 바이오 선박유"

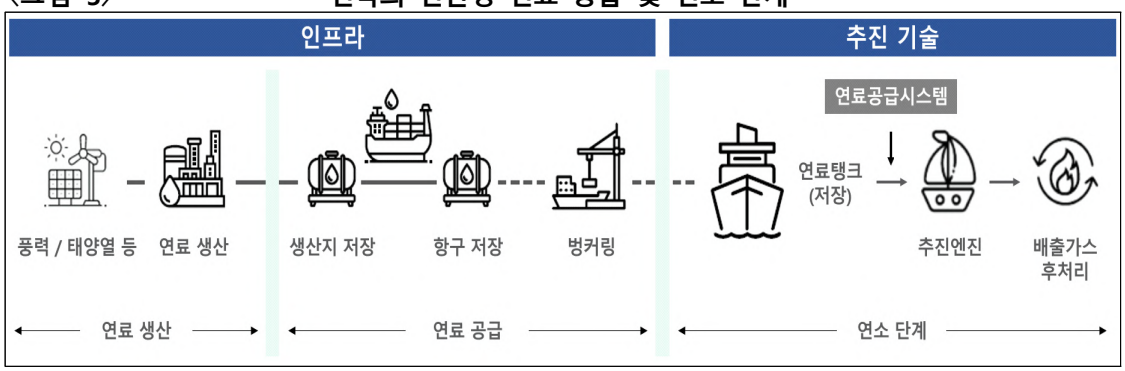
4) LNG 연료도 브릿지 연료로 평가되나, 별도의 추진엔진, 연료공급시스템, 연료 탱크 등이 필요하여 기존 연료추진 선박에는 사용할 수 없으며, 신조 또는 개조선박에 사용할 수 있음

❑ **해운사는 연소 단계의 추진 기술과 연료생산, 공급 단계의 인프라를 고려하여 선박에 적용될 친환경 연료를 채택하는 추세**

❍ (추진 기술) 핵심 기자재 기술과 조선소의 선박 건조 기술을 종합적으로 고려
- (핵심 기자재 기술) 연료 탱크, 연료공급시스템, 추진엔진 등에 대한 기술개발, 품질 확보 역량을 의미
- (선박 건조 기술) 설계 변화를 선박에 반영하는 기본설계 역량과 선박의 성능과 품질을 확보하는 선박 건조역량을 의미

❍ (인프라) 친환경 연료 채택의 핵심 기준으로 가격과 수급을 결정
- (연료 생산) 국제기구가 점차 연료의 생산부터 연소까지(WtW)의 탄소 배출량을 규제 기준으로 삼으며, 연료 생산 단계의 중요성 증대
- (연료 공급) 연료 생산지에서부터 선박까지 공급하는 단계로 항만과 벙커링 선박 등 인프라 요건을 의미

〈그림 3〉 선박의 친환경 연료 공급 및 연소 단계



자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022) 참고하여 당행 수정

❑ **본 고에서는 LNG, 메탄올, 암모니아, 수소가 선박의 친환경 연료로 채택될 가능성에 대해서 검토**

Ⅱ. 선박의 친환경 연료전환 동향 점검

1. 선박의 온실가스 규제 동향

❑ **선박 산업은 선박을 건조하는 조선산업과 선박을 운영하는 해운산업으로 구분되며, 대부분의 온실가스 배출은 해운산업에서 발생**

❍ 해운산업은 글로벌 탄소 배출량의 2~3%를 차지하나, 조선산업의 탄소 배출량은 해운산업의 0.6% 수준

〈참고 2〉 6대 온실가스 및 지구온난화지수

❍ 교토의정서('97)에서 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 등 6종류의 가스를 온실가스(Green House Gases, GHG)로 지정 - 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 이산화탄소의 100년 기준 온난화 효과를 1로 비교한 값으로 메탄 36, 아산화질소(N_2O) 310, 수소불화탄소(HFCs) 1,300, 과불화탄소(PFCs) 7,000, 육불화황(SF_6) 23,900 ❍ 6대 온실가스 중 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치는 가스는 이산화탄소로 전체 온실효과의 80%를 차지하는 것으로 알려져 있으나, 정확한 수치는 추정하기 어려움

❑ **해운 분야의 온실가스 감축 목표는 국제해사기구가 주관하며, 국제해사기구는 해운 온실가스 감축을 위해 "2050년경 Net-Zero 실현" 목표를 설정**

❍ 선박은 다양한 국가에서 운항하며, 선박의 등록국가, 실선주, 선박의 이용주체가 상이하여 특정 국가에 의무를 부과하기 어렵기 때문에, 글로벌 해운 온실가스 감축 목표는 국제해사기구가 주관

❍ 국제해사기구의 초기 목표는 "2050년까지 온실가스 배출량 50% 감축[5]"이었으나, '23년 7월 MEPC[6] 80차 회의에서 "2050년경 Net-Zero 실현"으로 강화

5) '50년까지 '08년 온실가스 배출량 대비 50% 감축
6) MEPC : 국제해사기구 내 해양환경보호위원회(Marine Environment Protection Committee)

〈표 5〉 **국제해사기구 온실가스 감축 수정 목표**

시 기	온실가스 배출량 감축 목표	비 고
‘30년	최소 20% 감축, 30%까지 감축 노력	‘08년도 배출량 기준
‘40년	최소 70% 감축, 80%까지 감축 노력	
‘50년경	Net-Zero 실현 (기존 50% 감축에서 목표 상향)	

자료 : 국제해사기구, 한국선급 참고하여 당행 작성

❍ 국제해사기구는 강화된 감축 목표 준수를 위해 단기 조치뿐 아니라, 연료의 생산부터 연소까지의 배출량을 고려한 연료 기준과 배출권거래제 등 중기 조치 검토 중

〈표 6〉 **국제해사기구의 온실가스 감축 목표에 따른 단기·중기 조치**

구 분	내 용
단기 조치	· **EEDI(에너지효율설계지수)** : ‘13년부터 시행되었으며, 신조선의 단위 화물량 및 운송 거리당 배출 예상되는 CO_2 양을 건조 및 설계 단계에서 제한하는 규제 · **EEXI(에너지효율지수)** : ‘23년 시행, EEDI 규제를 기존 운항 선박에 확대 적용 · **CII(탄소집약도지수)** : ‘23년 시행, 선박 운항 시 단위 화물량 및 운송 거리당 실제 배출되는 CO_2 양을 제한하는 규제로, 주관청(IMO 또는 대행기관)은 선박의 CII 값을 당해연도 CII 요구치와 비교하여 선박에 5개 등급(A~E)을 부여 - (A, B등급) 각국 항만에 인센티브를 부여할 것을 권장 - (C등급) 보통 등급으로 인센티브 및 제재 없음 - (D, E등급) 3년 연속 D등급 또는 1년 E등급을 받을 시 시정조치를 요구받음
중기 조치	· 선박 연료의 온실가스 집약도를 단계적으로 감축하는 기준 마련, 온실가스 배출량 가격제를 도입하는 등 기술적 요소와 경제적 요소 적용 검토 중

자료 : 국제해사기구, 한국선급 참고하여 당행 작성

❑ 유럽연합(EU)은 “지역 규제”를 통해 유럽연합 회원국에 기항하는 선박의 온실가스 배출을 제한

❍ 유럽연합은 ‘50년 탄소중립 목표를 설정, ‘30년까지 온실가스 배출량을 55% 감축하기 위한 실행전략인 「Fit for 55[7](‘21)」 법안 발표

- Fit for 55 법안 패키지 중 「EU 배출권거래제」와 「해상운송 연료 규제」 등을 통해 유럽연합 회원국에 기항하는 선박의 온실가스 배출을 제한

7) Fit for 55 법안은 유럽 위원회가 제안한 기후 및 에너지 과제의 종합적인 패키지를 의미하며, 온실가스 배출량을 감축하기 위한 다양한 부문에서의 입법 제안과 정책 등이 포함

〈표 7〉 유럽연합 온실가스 배출규제 내용

구 분	조 치	대 상	적 용	내 용
배출권거래제 (EU-ETS)	운항적/ 시장 기반 조치	기존 운항 선박	'24년	기업 간 온실가스 배출권 거래 제도로 '24년부터 해운 분야에 확대 적용
해상운송 연료 규제 (FuelEU Maritime)			'25년	❶선박 연료의 온실가스 총량을 제한하는 GHG Intensity 규제와 (Well-to-Wake 기준) ❷특정 선박 항구 정박 시 항구 전력만 사용하도록 강제하는 규제로 구성

주 : 배출권거래제는 철강, 전기, 화학, 알루미늄 등 육상산업('05), 항공산업('12) 기시행 중

❑ **항만, 화주, 운하, 금융권 등 해운과 연관된 산업에서도 선박의 온실가스 감축을 요구하며, 이는 점차 선사의 생존 문제로 발전**

〈표 8〉 해운 연관 산업의 선박의 온실가스 감축 요구

시 기	내용
항만	· '22년 11월 영국, 노르웨이, 네덜란드 등 국제사회는 친환경 해양 연결망 "Green Shipping Corridors[8]" 구축 계획을 발표 - 해당 항만에는 친환경 연료 인프라 확보, 친환경 연료추진 선박 운항 필요
화주[9]	· 미국 Amazon은 '30년까지 화물의 10%, '40년에는 전체 화물을 "Zero Emissions Vessels"를 이용할 것이라 밝힘
운하	· 수에즈운하청은 수에즈운하[10]를 통항하는 선박이 친환경 연료를 사용하는 경우 인센티브를 제공하는 방안 검토 중
금융권	· '19년 11월 "포세이돈 원칙[11]"이 수립되었으며, 이 원칙에 서명한 금융기관은 대출을 제공한 해운사의 기후 연계성을 평가하고 기준 미충족 해운사에는 대출을 조정

자료 : 당행 작성

❑ **국제기구 등의 온실가스 규제를 준수하기 위한 탄소배출 비용이 지속 증가하고, 노후선의 폐선 압력이 가중되며, 해운사는 선박의 친환경 연료로의 전환을 진행**

○ 친환경 연료는 인프라 부족 등으로 가격이 높아 현재는 경제성이 낮으나, 온실가스 배출 비용 등이 증가하며 상대적 경제성을 점차 확보 중

8) 육상 인프라를 포함한 전체 운송 경로가 탈탄소화된 특정 해상경로를 의미
9) 화주는 화물의 주인으로 해운사에 비용을 지불하고 선박을 이용하는 주체를 의미
10) 수에즈운하는 지중해와 홍해·인도양을 잇는 세계 최대의 운하로 이용 시 선박 운항시간 대폭 감소
11) 금융기관이 해운업계에 대한 대출을 결정할 때 기후변화 변수를 고려하도록 한 원칙

2. 친환경 연료추진 기술개발 동향

❑ **친환경 연료추진 기술은 LNG, 메탄올, 암모니아, 수소 연료 순으로 개발 중이며, 관련 기업들은 다양한 연료의 채택 가능성을 열어두고 기술개발 진행**

❍ 현재 LNG와 메탄올 연료추진 기술은 개발 완료되어 선박 적용 중
- LNG 추진 기술은 상용화 되어 다양한 선박에 적용 중이며, 메탄올 추진 기술이 적용된 컨테이너선[12)]이 '23년 7월 첫 인도 완료

❍ 암모니아와 수소 연료추진 기술은 개발 중이며, 암모니아가 수소보다 먼저 개발될 전망
- 암모니아 추진 기술의 핵심은 독성 처리 관련 연료공급시스템과 추진엔진이며, 연료공급시스템 '23년, 엔진은 '24~'25년 개발 예상
- 수소 추진 기술의 핵심은 극저온 저장 기술이 적용된 연료탱크이며, 수소 액화 온도는 영하 253℃로 LNG(영하 162℃) 대비 낮아 높은 수준의 저장 기술이 필요

❑ **연료별 특성에 따라 요구되는 기술 수준이 상이하며, 연료 탱크, 연료공급시스템, 추진엔진 등 핵심 기자재에 대한 기술개발 후 선박 건조 착수**

❍ 연료별 특성이 상이하여 LNG(영하 162℃)와 수소(영하 253℃)는 극저온 저장 기술이 중요하고, 암모니아와 메탄올은 독성 처리 등이 중요하므로, 이와 관련한 핵심 기자재 기술이 종합적으로 개발된 이후 선박 건조 착수 가능

〈표 9〉 연료별 추진 기술 수준

구분	핵심 기자재 기술			선박 건조 기술	요약 내용
	연료 탱크	연료공급 시스템	추진엔진		
LNG	●	●	●	●	· 상용화 단계
메탄올	●	●	●	○	· 건조 시작, 개조가 편리
암모니아	○	△	△	X	· '24년 엔진 개발 후 건조
수소	X	X	X	X	· 연구개발 중

주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

12) 덴마크 Maersk社가 한국조선해양에 발주한 선박으로 '23년 7월 첫 인도되었으며, 삼성중공업도 대만 Evergreen社로부터 메탄올 연료추진 컨테이너선 16척 수주('23년 7월)

(1) 연료 탱크

❑ **LNG, 메탄올, 암모니아 등 대부분의 연료 탱크는 국내 생산이 가능하나, 극저온 저장이 필요한 수소 연료 탱크는 현재 개발 중**

❍ (주요 공급망) LNG, 메탄올, 암모니아 연료 탱크는 상용화 단계, 수소는 개발 단계이며, 연료 탱크는 대부분 국내 생산이 가능
- (국내) 한국카본, 동성화인텍, 강림인슈, 세진중공업, NK 등이 주요 기업이며, 수소를 제외한 기타 연료 탱크는 국내 생산 가능
- (국외) LNG 운반선에는 극저온 화물창 기술[13]이 적용되며, 이는 프랑스 GTT(Gaztransport & Technigaz)가 선도

❍ (연료별 동향) 수소를 제외한 나머지 연료 탱크 기술은 상용화 단계
- (LNG) 액화온도가 영하 162℃로 매우 낮아 저장이 어려우나, 체적 에너지 밀도[14]가 높아 선박 적용에 유리
- (메탄올) 액화온도가 20℃로 상온에서 액체로 존재하여 저장이 쉬움
- (암모니아) 액화온도가 영하 34℃로 LPG(영하 42℃)와 유사하나 부식성이 있어 일부 소재 변경 시 LPG 탱크와 범용 가능
- (수소) 액화온도가 영하 253℃로 매우 낮아 증발률이 높으며, 체적 에너지 밀도가 낮아 기존 연료 대비 4.2배 수준의 대형 탱크 필요
  · 수소 저장을 위해서 ❶공기 응축(Air Condensation)을 피하기 위한 진공 보온, ❷증발을 최소화하기 위한 가압 장치, ❸수소의 낮은 체적 에너지밀도를 보완하기 위한 충분한 탱크 공간 필요
  · 수소 저장 기술은 개발 중이나, 현 기술 수준에서는 경제성이 낮은 것으로 평가

〈표 10〉 **선박 연료 저장 특성**

구분	체적 에너지밀도(GJ/m^3)	저장 온도(℃)	상대적 탱크 크기 (기존 연료탱크 크기 대비)
LNG	25.0	영하 162	1.6배
메탄올	15.8	20	2.3배
암모니아	12.7	영하 34	2.8배
수소	8.5	영하 253	4.2배

자료 : 한국선급(2022), "무탄소 선박연료로서 암모니아의 전망"

13) 화물창 기술은 운반선에 적용되는 맴브레인 형태의 저장 기술을 의미
14) 연료 탱크 크기를 결정하는 요인으로 보통 중량 에너지밀도보다 중요하게 평가

(2) 연료공급시스템

❑ **암모니아와 수소 연료공급시스템은 개발 중이며, 종합 기술개발은 주로 국내 대형조선소가 주도 중이나, 고압 펌프 등 일부 기자재는 해외 업체가 선도**

❍ (주요 공급망) 종합 시스템에 대한 기술개발은 국내 대형조선소가 주도 중이며, 고압 펌프 등 일부 구성 기자재는 일본, 프랑스 등이 선도

- (국내) 한국조선해양, 한화오션, 삼성중공업 등 국내 대형조선소가 기술개발을 주도하고 있으며, 기자재업체로는 동화엔텍, 동화뉴텍, 선보 등이 존재
- (국외) 중국도 CSSC SUNRUI, LGM 등 자국 연료공급시스템 업체가 있으나, 한국과 경쟁하지 않고 자국 수요에 대응
  · 연료공급시스템을 구성하는 일부 극저온 펌프, 고압 펌프 기술은 일본의 SHINKO, EBARA와 프랑스 CRYOSTAR 등이 선도

❍ (연료별 동향) 연료별 특성에 따라 요구되는 기술 수준이 상이하며 LNG는 상용화, 메탄올은 개발 완료 단계, 암모니아와 수소는 개발 중

- (LNG) 현재 상용화 중이며, 가스 분사 엔진이 적용되어 고압펌프, 기화기, 재액화기 등의 높은 기술의 기자재 필요
  · 주요 기자재로 펌프, 기화기, 열교환기, 이중배관, 제어시스템, 압축기, 압력기, 재액화기, 연료 공급 통합제어시스템 등 필요
  · LNG 연료공급시스템은 한국조선해양 Hi-Gas, 한화오션 HiVar, 삼성중공업 FuGaS 등 조선소별 브랜드 제품 존재
- (메탄올) 개발 완료 단계이며, 액상 분사 엔진이 적용되고 상온에서 액체 상태로 존재하여 기술 요구 수준이 높지 않은 것으로 평가
- (암모니아) ‘23년 목표로 한국조선해양 등에서 개발 중
  · 액상 분사 엔진이 적용되나 상온에서 기체 상태로 존재하여 재액화 장치가 필요하고 후처리를 위한 SCR[15], 암모니아 Catch System 필요
  · 특히, 유독성과 부식성을 고려한 방제시스템 적용이 중요
- (수소) 가스 분사 엔진 또는 연료전지 형태의 추진기가 적용될 것으로 예상되며, 연료공급시스템 등 관련 기술은 현재 개발 중

15) SCR(Selective Catalytic Reduction) : 화학반응을 통해 배기가스 내 질소산화물을 줄이는 기술

(3) 추진엔진

❑ **선박 추진엔진에 대한 원천기술은 주로 독일, 스위스, 중국 등이 보유 중이며, 암모니아와 수소 추진엔진은 엔진 제조사와 조선업계가 공동개발 중**

❍ (주요 공급망) 원천기술은 독일, 스위스, 중국이 선도 중이며, 국내 조선업계 및 국내 엔진 제조사와 협력관계를 유지하며 공동개발 중
- (국내) 현대중공업[16], STX엔진, HSD엔진 등이 주요 엔진 제조사이며, 원천기술회사로부터 위탁계약을 체결하여 엔진을 생산
- (국외) 독일 MAN ES, 스위스 Wartsila, 중국 WinGD[17] 원천기술 보유

❍ (연료별 동향) 연료공급시스템과 동일한 상황으로, LNG는 상용화, 메탄올은 개발 완료 단계, 암모니아와 수소는 개발 중
- (LNG) 저압 엔진(Otto Cycle)과 고압 엔진(Diesel Cycle)으로 상용화
- (메탄올) MAN ES사의 기술개발 속도가 가장 앞서며, 추진용 2행정 엔진은 개발 완료, 발전용 4행정 엔진은 '24년 개발 예정
- (암모니아) MAN ES사는 현대중공업과 엔진을 공동개발 중이며, 추진용 2행정 엔진은 '24~'25년, 발전용 4행정 엔진은 '26년 개발 예정
  · WinGD도 현대중공업과 '25년까지 추진용 엔진 공동개발 예정
  · 암모니아는 최소 점화 에너지와 자연발화 온도가 높고 화염속도가 느린 특징이 있어 파일럿 연료를 통해 점화하는 방식으로 엔진 개발
- (수소) 연료전지는 '25년 개발, 추진엔진(4행정)은 '28년 개발 예상

〈표 11〉 **선박 연료 연소 특성**

구분	최소 점화 에너지(mJ)	자연발화 온도(℃)	최대 화염속도(m/s)
LNG	0.28	630	0.37
메탄올	0.14	385	0.43
암모니아	8	650	0.07
수소	0.018	520	2.91

자료 : 한국선급(2022), "무탄소 선박연료로서 암모니아의 전망"

16) 현대중공업은 MAN ES, WinGD의 2행정 선박 엔진(주로 추진엔진) 라이센스 생산 및 자체 개발한 4행정(주로 발전기 엔진) 힘센 엔진 생산 사업을 영위 중
17) '15년 Wartsila의 엔진사업부를 중국선박공업집단(CSSC)이 인수하여 설립

(4) 선박 건조

❑ **친환경 연료추진 선박 건조는 한국이 선도, 중국이 추격 중으로 평가되며, 암모니아와 수소 연료추진 선박은 핵심 기자재 기술이 개발된 후 건조 가능**

❍ (주요 공급망) 친환경 연료추진 선박 건조는 국내 조선소가 선도 중이나, 자국 발주를 기반으로 중국이 빠르게 성장

- (국내) 한국조선해양[18], 한화오션, 삼성중공업이 선도하는 것으로 평가되며, '22년 글로벌 친환경 연료추진 선박 발주량의 44.5% 수주
  · '22년 친환경 연료추진 선박 수주량은 한국조선해양은 646만CGT[19], 한화오션은 382만CGT, 삼성중공업은 347만CGT이며,
  · '22년 한국의 친환경 연료추진 선박 자국발주[20] 물량은 17.4% 수준
- (국외) 중국과 일본이 자국 발주를 통해 성장하고 있으며, 특히 중국 기업들이 급속도로 성장 중
  · (중국) Hudong Zhonghua 조선소의 '22년 친환경 연료추진 선박 수주량은 총 355만CGT로 글로벌 친환경 연료추진 선박 발주량의 11.9%를 수주
  · (일본) 친환경 연료추진 선박 분야 경쟁력이 낮아 대부분 자국 발주 물량 수주
  · '22년 중국, 일본의 친환경 연료추진 선박 자국발주 물량은 각 33.2%, 95.4% 수준

❍ (연료별 동향) LNG 추진선은 현재 다양한 선종에서 상용화되었으며, 메탄올 추진선은 건조 초기 단계, 암모니아 및 수소 추진선은 개발 중

〈표 12〉 **연료별 선박 건조기술 수준**

구분	선박 건조	내용
LNG	●	· 현재 상용화되어 다양한 선종의 연료로 적용 중
메탄올	○	· '23년 7월 메탄올 추진 컨테이너선 첫 인도(한국조선해양 건조)
암모니아	X	· 현재 핵심 기자재 기술을 개발 중으로 상용화까지 시일 필요
수소	X	

주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

18) HD현대 계열의 조선 지주사로 현대중공업, 현대삼호중공업, 현대미포조선이 포함
19) CGT(Compensated Gross Tonnage) : 선박 건조 시 공사량을 판단하기 위해 환산한 단위
20) 수치가 높을수록 자국 내 공급망이 잘 조성된 것으로 평가되기도 하나, 해외 선주로부터 수주한 물량이 적어 국제 경쟁력이 낮은 것으로도 평가됨

3. 연료별 채택 가능성 점검

❑ **'40년까지 LNG 연료가 주도적으로 사용되고, 중기적으로 e-연료와 Bio-연료 형태의 메탄올과 암모니아가 경합, 장기적으로 수소까지 채택될 가능성 존재**

○ (탄소 저감) LNG는 기존 연료 대비 탄소 배출량이 적어 브릿지 연료로 사용되며, e-연료와 Bio-연료 형태의 메탄올, 암모니아, 수소는 탄소배출이 거의 없어 미래 친환경 연료로 평가

- 메탄올은 연소 시(Tank-to-Wake) 탄소를 배출하나, e-메탄올과 Bio-메탄올은 생산과정에서 탄소중립이 가능

〈표 13〉 **연료별 탄소 저감**

구분	수준	탄소배출 비교		내용
		TtW	WtW	
LNG	△	74~84%	83~92%	· 화석 연료로 탄소를 배출하여 브릿지 연료로 활용
메탄올	●	92%	5%	· 생산 단계에서 탄소중립 가능
암모니아	●	0%	0%	· 연료 내 탄소를 포함하지 않아 탄소배출 거의 없음
수소	●	0%	4%	

주 : **(수준)** ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡, **(탄소배출 비교)** Bio-메탄올, e-메탄올, e-암모니아, e-수소 기준

○ (해운 규정[21]) 국제해사기구 해운 규정의 제정 여부는 단기간 내 연료의 사용 가능성에 대한 판단 기준으로 LNG와 메탄올은 현재 연료로 사용 가능

〈표 14〉 **연료별 해운 규정**

구분	수준	해운 규정 비교	내용
LNG	●	규정 발효	· 규정 발효 중
메탄올	○	잠정 지침 개발	· 연료 사용에 제약 없음
암모니아	X	검토 중	· '28년 규정 발효 예상
수소	X	검토 중	· '32년 규정 발효 예상

주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

21) IGF(International Gas Fuel Code)를 의미하며, 가스 또는 저인화점 연료를 사용하는 선박에 대한 국제 필수 규정

❍ (인프라) 연료 가격과 수급에 관한 중요 지표로 단기간에는 LNG, 이후 e-암모니아가 성장할 것으로 예상

- LNG를 제외한 e-연료와 Bio-연료 형태의 메탄올, 암모니아, 수소 모두 선박 연료로 사용하기 위한 초기 단계로 연료생산 및 인프라는 부족한 상황
- e-암모니아는 e-수소의 운반 수단으로 부상 중이며, 대부분의 e-암모니아 생산 프로젝트가 e-수소와 연계되어 있어 향후 성장이 예상
- e-메탄올과 Bio-메탄올은 자연에서 포집되는 탄소를 사용하여 생산된 메탄올만 탄소중립 연료로 인정되어 생산량 확대가 어려움
  · 단, 추진 기술은 메탄올이 가장 안정적으로 평가되어, 향후 연료 생산량 증가가 메탄올 연료의 성장을 결정할 것으로 예상

〈표 15〉 연료별 인프라

구분	연료생산	공급망	내용
LNG	●	○	· 글로벌 교역량이 지속 증가 중이며, 공급망도 빠르게 확대 중
메탄올	X	△	· 공급 부족이 전망되어 일부 해운사 위주로 채택 · 메탄올은 이미 다양한 산업에서 활용되어 기존 공급망 일부 활용 가능
암모니아	△	△	· 본격 적용 시 공급은 안정적일 것으로 전망 · 암모니아는 이미 다양한 산업에서 활용되어 기존 공급망 일부 활용 가능
수소	△	X	· 생산은 증가할 것으로 예상되나, 액화온도가 낮아 선박 공급은 제한적일 것으로 판단

주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

❍ (추진 기술) LNG는 상용화, 메탄올은 건조 시작 단계이며 이후 암모니아와 수소 순으로 추진 선박이 개발될 전망(<표9> 참조)

(1) LNG(Liquefied Natural Gas)

❑ **(종합의견) LNG는 화석연료로 탄소중립을 위한 연료로는 부적합하나, 브릿지 연료로서 당분간 해양환경 규제 대응을 주도할 전망**

〈표 16〉 **LNG 연료 진단**

구 분			수 준	비 고
탄소 저감			△	· 탄소를 배출하여 브릿지 연료로 활용
인프라	연료 생산		●	· 글로벌 교역량 지속 증가
	공급망(벙커링 등)		○	· 투자가 지속되며 공급망 확대
추진 기술	선박 건조		●	· 상용화되어 여러 선박에 적용 중
		연료 탱크	●	
		연료공급시스템	●	
		추진엔진	●	

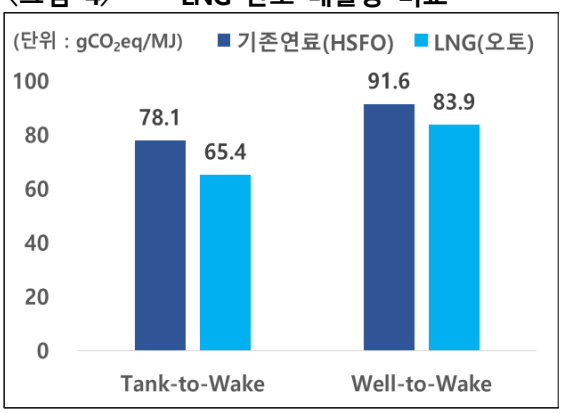
주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

❑ **LNG는 기존 연료 대비 탄소배출이 적어 브릿지 연료로 활용**

❍ 저압엔진(Otto Cycle)의 LNG 연소 시 탄소 배출량은 TtW 배출량 기준 약 83.7%, WtW 기준 약 91.6% 수준

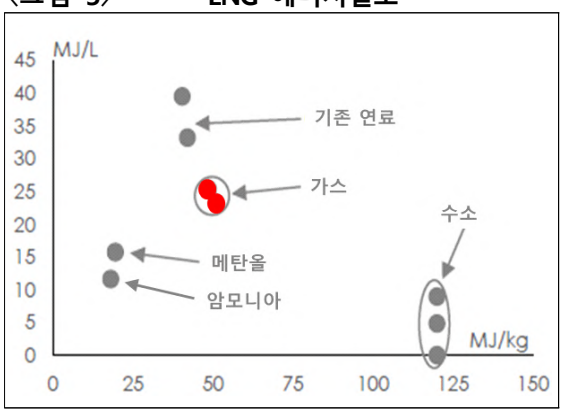
❍ LNG는 수소 대비 중량 에너지밀도는 낮으나, 체적 에너지밀도는 메탄올, 수소, 암모니아 중 가장 높아 공간이 한정된 선박에 유리

〈그림 4〉 **LNG 탄소 배출량 비교**



자료 : MAN Energy Solutions(2022) 참고하여 당행 작성

〈그림 5〉 **LNG 에너지밀도**



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

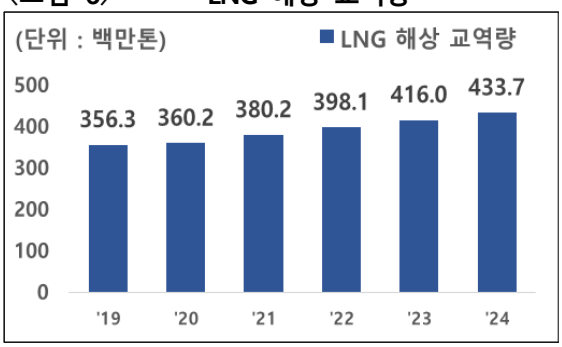
❑ **LNG 글로벌 교역량이 지속 증가 중이며, LNG 벙커링 시설도 확대되고 있어 전반적인 공급 인프라는 양호한 것으로 평가**

❍ 글로벌 해상 LNG 교역량은 '19년 356백만톤에서 '24년 434백만톤으로 연평균 성장률(CAGR) 4.0%로 증가할 전망

❍ 한국가스공사에 따르면 '30년 기준 LNG 벙커링 수요는 연간 20~30백만톤으로 추정되며, 이는 글로벌 해상 LNG 교역량의 약 5% 수준

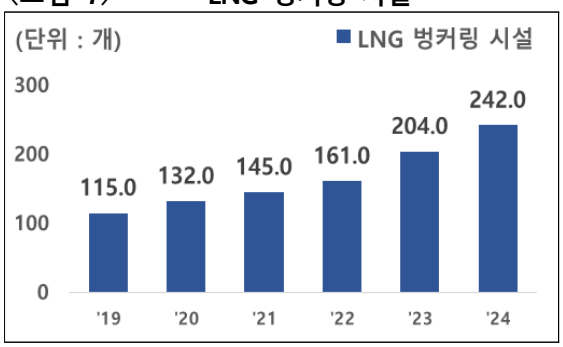
❍ LNG 벙커링 시설도 '19년 115개에서 '24년 242개로 연평균 성장률(CAGR) 16.0%로 증가할 전망

〈그림 6〉 LNG 해상 교역량



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

〈그림 7〉 LNG 벙커링 시설



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **LNG를 연료로 사용 시 LNG가 엔진 내에서 완전 연소되지 못하고 대기 중에 일부 방출되는 "메탄 슬립" 현상 존재**

❍ 메탄의 지구온난화지수(GWP)는 약 36으로 지구온난화 영향이 커, 메탄 슬립 문제는 LNG 연료추진 선박의 문제로 부상

❍ LNG 이중연료 엔진은 고압 엔진(Diesel Cycle)과 저압 엔진(Otto Cycle)이 있으며, 주로 메탄 슬립 현상은 저압 엔진에서 발생

- (고압 엔진) 300bar 고압 연료분사 엔진으로 연비는 좋으나, 조작이 어려움
- (저압 엔진) 16Bar 저압 연료분사 엔진으로 조작이 쉬워 선주가 주로 채택하나, 메탄 슬립 현상이 존재하여 이에 대한 해결책 필요

❑ **LNG 등 기존 화석연료는 선상 탄소 포집 기술(OCCS[22])을 활용하여 대기로 배출되는 탄소를 줄여 규제에 대응할 수 있음**

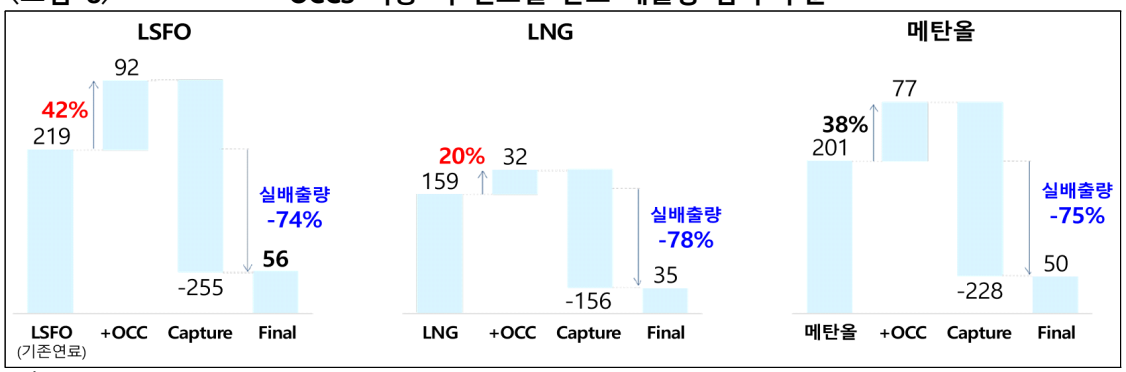
❍ OCCS는 선상을 의미하는 Onboard와 CCS(Carbon Capture and Storage)를 합친 용어로 선박 배출 탄소를 직접 포집하는 기술을 의미

- OCCS 기술은 현재 개발 중이며, OCCS 사용 시 선상 배출 탄소의 최대 82%를 포집할 수 있는 것으로 추정

❍ LNG를 OCCS와 결합하여 사용 시 탄소 배출량 약 78% 감축 가능

- LNG뿐만 아니라 연소 시 탄소를 배출하는 LSFO, 메탄올 등도 보조적으로 활용 가능

〈그림 8〉 OCCS 사용 시 연료별 탄소 배출량 감축 수준



자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), "The role of onboard carbon capture in maritime decarbonization"
주 : VLCC 기준

❍ 단, OCCS 가동을 위해 추가 에너지를 사용해야 하는 점과 선박 건조 비용이 크게 상승하는 단점이 존재

〈표 17〉 OCCS 사용에 따른 영향(VLCC 기준)

구분	LSFO	LNG	메탄올
실질 탄소배출	△74%	△78%	△75%
추가 연료 소모	+42%	+20%	+38%
추가 자본적지출(건조비 상승)	+42%	+26%	+33%

자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022)

22) OCCS(선상 탄소포집 시스템) : Onboard Carbon Capture and Storage System

❑ 선박 친환경 연료로서 LNG에 대한 찬반 의견은 다음과 같음

〈표 18〉 친환경 연료로서 LNG에 대한 찬반 의견

구 분	주 요 내 용
찬성	· 사용이 안전하고, 기술 검증이 완료되었음 · 벙커링 인프라가 점차 확대 중 · NOx, SOx, 미세먼지 등의 배출 거의 없고, 기존 연료 대비 CO_2 배출이 적음 · LNG 운반선은 화물창 내 증발 가스를 연료로 사용할 수 있어 경제적임
반대	· 화석연료로 탄소중립에는 부적합 · 불완전 연소로 인한 메탄슬립 발생 · 벙커링 시설이 일부 지역에 한정적임 · 미래 LNG 가격의 불확실성 존재 · LNG 추진선은 기존 연료 선박 대비 가격이 비싸며, 개조 비용도 비쌈

자료 : Clarkson(2023) 참고 및 업계 조사하여 당행 작성

〈참고 3〉 LNG 특징

❑ LNG는 액화천연가스의 줄임말로, 천연가스는 메탄 등의 유기화합물로 구성되어 있으며, 주로 전력 발전 또는 자동차, 선박 등의 연료로 사용

❍ (생산방식) 메탄이 주성분인 천연가스를 수분과 유해 성분을 제거하는 정제·증류 과정과 액화 공정을 거쳐 생산

❍ (특징) LNG는 타 기존 연료 대비 황산화물(99%), 이산화탄소(20%)를 적게 배출하나 보관이 어려움

- LNG는 기체 상태 대비 1/600배의 부피를 가지고 있으나, 비등점이 낮아(영하 163℃) 액화 과정에서 에너지소비 높음
- 기존 연료 대비 발열량과 에너지밀도는 각각 50MJ/kg, 22.5MJ/L로 높고, 열량 당 탄소 함유량은 15kg/kJ로 낮아 무탄소 연료 제외 시 환경규제 대안으로 가장 적합

❍ (현황) LNG는 산업, 교통, 가정 등에서 친환경 에너지원으로 사용될 뿐만 아니라 석유화학산업에서 수소*의 원료로 사용

* LNG를 개질하여 생산하는 수소는 메탄올, 암모니아 등 다양한 연료와 올레핀과 같은 석유화학제품 생산에서 필수적으로 사용

(2) e-메탄올, Bio-메탄올(Methanol, CH_3OH)

❑ **(종합의견) 기술적으로 안정적이나, 생산량 부족으로 공급망을 확보한 메이저 컨테이너선사가 주로 채택 중이며, 향후 생산량 확보가 메탄올 연료의 성장을 결정할 것으로 예상**

〈표 19〉 **메탄올 연료 진단**

구 분			수 준	비 고
탄소 저감			●	· 생산 단계에서 탄소중립 가능
인프라	연료 생산		X	· 글로벌 공급량 미흡
	공급망(벙커링)		△	· 기존 공급망 일부 활용 가능
추진 기술	선박 건조		○	· 추진 기술은 개발 완료 · '23년 7월 메탄올 연료추진 컨테이너선 인도
		연료 탱크	●	
		연료공급시스템	●	
		추진엔진	●	

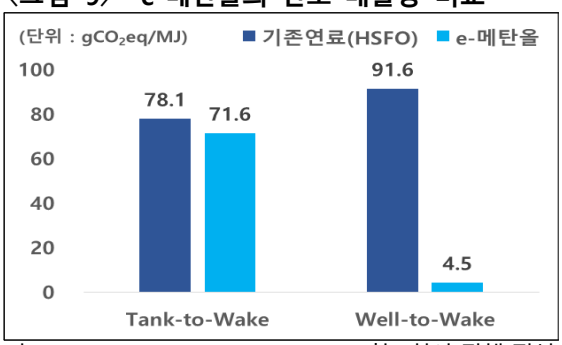
주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

❑ **메탄올 연소 시 탄소를 배출하나 e-메탄올과 Bio-메탄올은 생산 단계에서 탄소중립이 가능하고, 수소·암모니아 대비 에너지 효율 양호**

○ 메탄올 연소 시 탄소 배출량은 기존 연료 대비 약 88.5%(TtW) 이나, e-메탄올과 Bio-메탄올은 생산 단계에서 탄소중립이 가능하여 총 탄소 배출량은 기존 연료 대비 약 2~3%(WtW) 수준

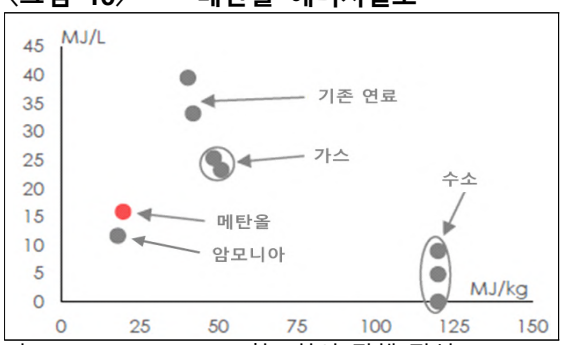
○ 메탄올은 수소 대비 중량 에너지밀도는 낮으나, 체적 에너지밀도는 암모니아와 수소 대비 높아 선박 적용에 유리

〈그림 9〉 **e-메탄올의 탄소 배출량 비교**



자료 : MAN Energy Solutions(2022) 참고하여 당행 작성

〈그림 10〉 **메탄올 에너지밀도**



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **메탄올은 저장이 쉽고, 추진 기술이 검증되어 취급 규정이 모두 존재하며, 유출 시 자연에서 생분해되는 장점 존재**

❍ 상온에서 액체로 존재하여 수소(영하 253℃), LNG(영하 162℃) 대비 저장 쉬움

❍ 메탄올 엔진은 지난 10년간 검증되어 현재 선박 적용이 가능하며, 취급 관련 규정이 모두 존재하여 활용이 쉬움

❍ 메탄올은 해양 연료 유출에도 2~3일 안에 생분해되어 연료 유출 사고 시에도 비교적 안전한 것으로 알려짐

❑ **메탄올은 이미 다양한 산업에서 활용되고 있어 기존의 공급·유통 시설을 활용할 수 있음**

❍ 메탄올은 글로벌 상위 100개 중 90개 항구에서 벙커링이 가능
- 단, 메탄올 연료가 채택되려면 터미널 및 벙커링 시설을 포함한 항만 인프라의 추가 확장은 필수적

❍ 기존 디젤유 탱크는 메탄올 탱크로 개조가 쉬워, 타 대체 연료에 비해 벙커링 용이
- 현재 트럭을 통해 선박 벙커링이 가능하며, '21년 세계 최초로 벙커링 선박을 활용한 Ship-to-Ship 벙커링 검증 완료

❍ 선박 연료로서 메탄올 수요 증가가 예상되어 유럽을 중심으로 항만 및 벙커링 선박 시설 투자 확대 중

〈표 20〉 **발표된 메탄올 벙커링 시설 투자 프로젝트**

'21년 발표 프로젝트	'22년 발표 프로젝트	'23년 발표 프로젝트
· 네덜란드 Amsterdam	· 에스토니아 Tallinn · 폴란드 Gdynia · 이집트 Ain Sokhna	· 네덜란드 Rotterdam · 싱가포르 Bunkering Vessel

자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

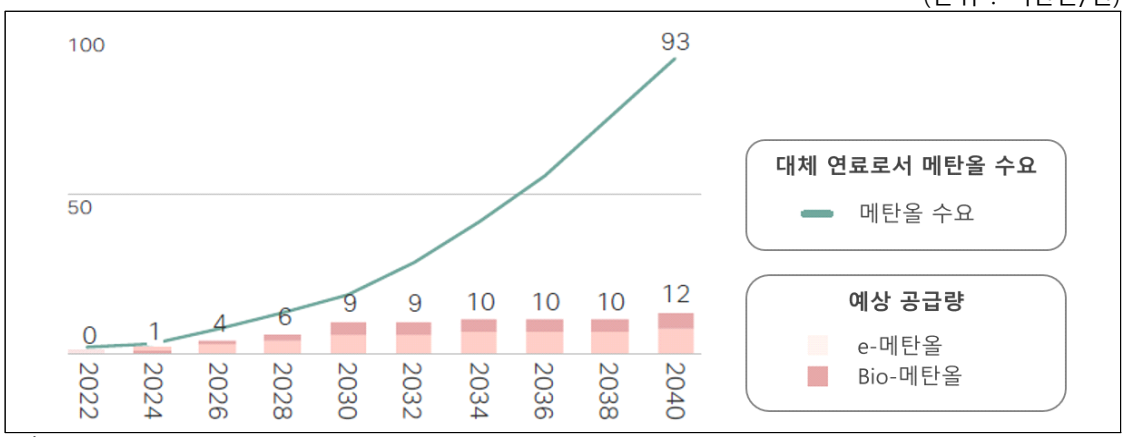
❑ **단, e-메탄올과 Bio-메탄올은 공급이 부족할 것으로 전망되며, 생산량 확보가 향후 메탄올 연료의 성장을 결정할 것으로 예상**

❍ '40년 선박의 메탄올 연료 수요는 93백만톤이나, e-메탄올과 Bio-메탄올의 공급량은 12백만톤으로, 향후 공급량이 부족할 전망

- '22년 글로벌 메탄올 생산량은 98백만톤이나, 이는 대부분 천연가스(56%)와 석탄(36%)을 원료로 생산되어 친환경 연료로는 부적합
- 또한, 발전소 등에서 포집된 탄소는 인정되지 않고, 자연에서 포집되는 탄소를 사용하여 생산된 메탄올만 탄소중립 연료로 인정되어 생산량 확대가 어려움

〈그림 11〉 선박 대체 연료로서 메탄올 수요 및 공급 전망

(단위 : 백만톤/년)



자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), MAN Energy Solutions(2022)

❑ **메탄올을 선박의 연료로 채택하고 있는 해운사는 메탄올 공급사와 파트너십을 체결하는 등 안정적인 공급처를 확보하기 위해 노력 중**

❍ 세계 2위의 덴마크 컨테이너선사 Maersk는 '25년까지 73만톤, '30년까지 5백만톤의 e-메탄올과 Bio-메탄올 공급을 위해 9개의 친환경 메탄올 공급사[23]와 파트너십을 체결('22년)

❍ 이 밖에, 프랑스 CMA-CGM, 스위스 MSC, 일본 MOL 등도 MI[24]에 가입하며 친환경 메탄올 공급망 확보 노력 중

23) CIMC ENRIC, European Energy, GTB, Orsted, Proman, WasteFuel 등

24) MI(Methanol Institute)는 1989년에 설립되었으며, 메탄올 생산업체, 유통업체, 기술업체를 대표하는 메탄올 산업의 글로벌 무역 협회 역할을 수행

❑ 선박 친환경 연료로서 메탄올에 대한 찬반 의견은 다음과 같음

〈표 21〉 친환경 연료로서 메탄올에 대한 찬반 의견

구 분	주 요 내 용
찬성	· TtW 기준 SOx, NOx, 미세먼지 등의 배출량이 적은 친환경 연료 · WtW 기준 e-메탄올, Bio-메탄올의 탄소 배출은 기존 연료의 2~3% 수준 · 연료 관리 및 위험 관리가 LNG 대비 간편 · 일부 지역에서 메탄올 벙커링 설비가 이미 가동 중 · 타 연료 대비 엔진 일부 개조만으로도 사용 가능
반대	· TtW 기준으로 메탄올은 1,375gCO_2/kg를 배출하며, 기존 연료와 동일한 에너지를 생산하려면 2,890gCO_2/kg 배출 · 그린 메탄올(e-메탄올, Bio-메탄올) 가격이 매우 비쌈 · 현재 그린 메탄올은 연간 20만톤 생산 수준으로 수요 충당 불가 · 메탄올은 독성이 있고, 연소 시 불꽃이 눈에 보이지 않아 위험성 존재

자료 : Clarkson(2023) 참고 및 업계 조사하여 당행 작성

〈참고 4〉 메탄올 특징

❑ 메탄올은 CH_3OH의 화학식으로 표현되는 유기화합물로, 알코올, 목재 산업, 화장품, 약품 등 다양한 분야에서 사용

❍ (생산방식) 메탄올 생산은 크게 ❶석탄·천연가스를 원료로 생산하는 방식과 ❷이산화탄소를 원료로 생산하는 방식으로 구분

- (❶석탄·천연가스) 주로 사용되는 방식으로, 석탄·천연가스의 메탄을 이산화탄소와 반응시켜 합성가스($CO + H_2$)를 만든 후 수소를 첨가하여 생산($CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$)
- (❷이산화탄소) 이산화탄소를 원료로 CAMERE공정*을 통해 생산

* 이산화탄소를 수소와 반응, 일산화탄소로 전환 후 물을 제거한 뒤 수소와 반응하여 생산

❍ (특징) 상온에서 보관이 용이하며 연료 공급이 쉽고, 친환경적임

- 기존연료 대비 불순물이 적고 연소온도가 낮아 황산화물(99%), 질소산화물(80%), 이산화탄소(25%) 배출량을 줄일 수 있음
- 누출시에도 빠르게 생분해가 되어 환경오염 문제가 없으나, 폭발 위험이 있으며 유출시 인체에 유해
- 기존 연료에 비해 발열량과 에너지밀도는 19.9MJ/kg, 14.9MJ/L로 낮고 열량당 탄소함유량은 18.8kg/kJ로 높지만, 기본 상태가 액체로 별도 에너지 사용 불필요

(3) e-암모니아(Ammonia, NH_3)

❑ **(종합의견) 독성이 존재하나, 연료 생산·공급 인프라가 잘 갖춰져 있고, 수소의 운반 수단으로서 암모니아가 부상하며 성장이 예상**

〈표 22〉 **암모니아 연료 진단**

구 분			수 준	비 고
탄소 저감			●	· 무탄소 연료로 탄소배출 거의 없음
인프라	연료 생산		△	· 본격 생산 시 공급 안정 예상
	공급망(벙커링)		△	· 기존 공급망 일부 활용 가능
추진 기술	선박 건조		X	· '24년 엔진 개발 완료 · 독성 처리 기술 중요
		연료 탱크	○	
		연료공급시스템	△	
		추진엔진	△	

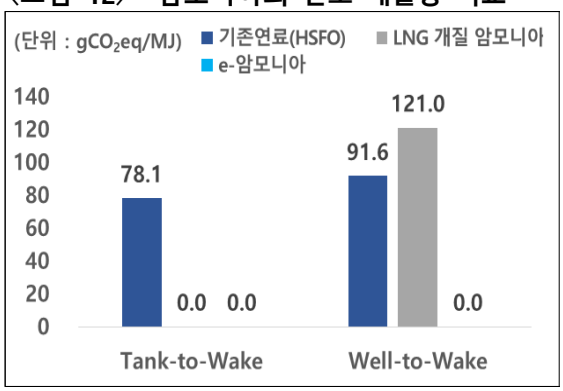
주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

❑ **암모니아는 연료 내 탄소를 포함하지 않아 연소 시 탄소배출 없음**

❍ LNG 개질 생산 암모니아는 생산 단계에서 탄소를 배출하나, e-암모니아는 생산부터 연소까지(WtW) 무탄소 연료로 평가

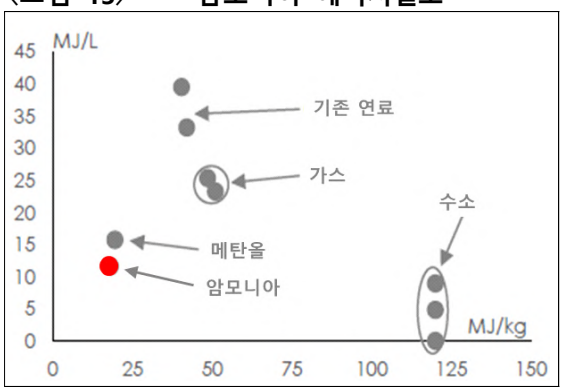
❍ 암모니아의 체적 에너지밀도는 수소보다 높으며, 액화온도도 영하 34℃로 수소(영하 253℃) 대비 양호

〈그림 12〉 **암모니아의 탄소 배출량 비교**



자료 : MAN Energy Solutions(2022) 참고하여 당행 작성

〈그림 13〉 **암모니아 에너지밀도**



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **암모니아를 사용할 경우 ❶파일럿 연료 필요, ❷질소산화물 발생, ❸암모니아 슬립 현상 등 문제점이 있으나, 바이오 연료와 SCR 시스템을 통해 일부 해결 가능**

❍ 암모니아의 자연발화 온도는 약 651℃로 비교적 높아 연소를 돕기 위한 파일럿 연료를 함께 주입하는 방식으로 엔진 개발 중
- 파일럿 연료 연소 시 탄소가 배출하나, 바이오 디젤을 사용 시 탄소배출을 줄일 수 있음

❍ 또한, 암모니아의 화학식은 NH_3로 연소 과정에서 NO_X 및 N_2O 등 질소화합물이 배출될 수 있으나, SCR 시스템을 통해 해결 가능

❍ LNG 연료와 마찬가지로, 암모니아도 슬립 현상이 존재하는 것으로 알려져 있으며, 이를 해결하기 위한 후처리 장치 필요

〈그림 14〉 **SCR 시스템 작동 방식**

자료 : 현대중공업 홈페이지

❑ **암모니아 연료의 가장 큰 문제는 유독성과 부식성으로, 유출과 부식을 방지하기 위한 설계와 규제 마련이 필수**

❍ (유독성) 암모니아에 노출되면 호흡기, 눈, 코 등의 점막이 자극되어 손상될 수 있으며, 직접적인 접촉 시 화상을 입을 수 있음
- 암모니아 취급 구역에는 비상 샤워기와 세안소 설치 필요하며, 숙박 시설 및 작업 구역의 환기 장치는 암모니아 유입을 차단할 수 있도록 설계 필요
- 또한, 암모니아가 수중 생태계에 배출되면 부영양화를 유발하여 생태계를 파괴할 수 있어 해상 암모니아 배출에 대한 생태계 영향 검토 및 규제 필요

〈표 23〉 **암모니아 농도에 따른 유독성**

농도(ppm)	증상
5	· 특유의 냄새 감지 가능
6~20	· 눈 자극과 호흡기계에 문제 유발
40~200	· 두통, 매스꺼움, 식욕감퇴, 기도와 코, 목구멍 자극
400	· 목 자극
700	· 눈 손상 유발
1,700	· 기침 및 호흡 곤란 유발
2,500~4,500	· 치명적
5,000 이상	· 호흡 정지로 인한 사망 가능

자료 : 한국선급(2022), "무탄소 선박연료로서 암모니아의 전망"

○ (부식성) 암모니아는 구리, 구리 합금 및 아연 등 일부 재료에 부식성이 있어 재료 선정 시 주의 필요

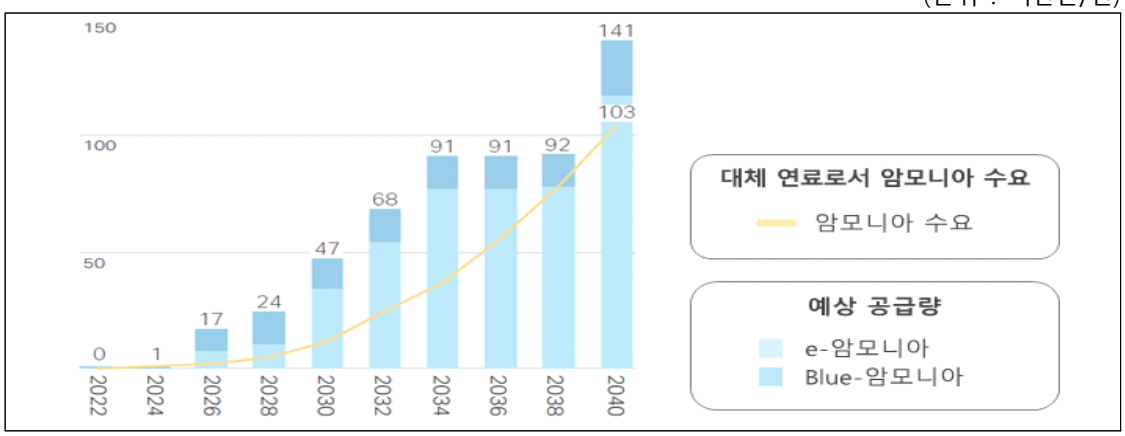
❑ **e-암모니아는 그린수소 프로젝트와 연계성이 높아, '25년 이후 생산과 공급이 활발해질 것으로 전망**

○ 전 세계에서 진행 중인 그린수소 생산 프로젝트의 85% 이상이 그린 암모니아 생산과 연계되어 진행 중이며,

- '25년부터 e-암모니아와 Blue-암모니아[25] 생산량 증가로, '40년 선박의 암모니아 연료 수요는 103백만톤, 공급은 141백만톤 수준으로 수요 충족 가능 전망

〈그림 15〉 **선박 대체 연료로서 암모니아 수요 및 공급 전망**

(단위 : 백만톤/년)

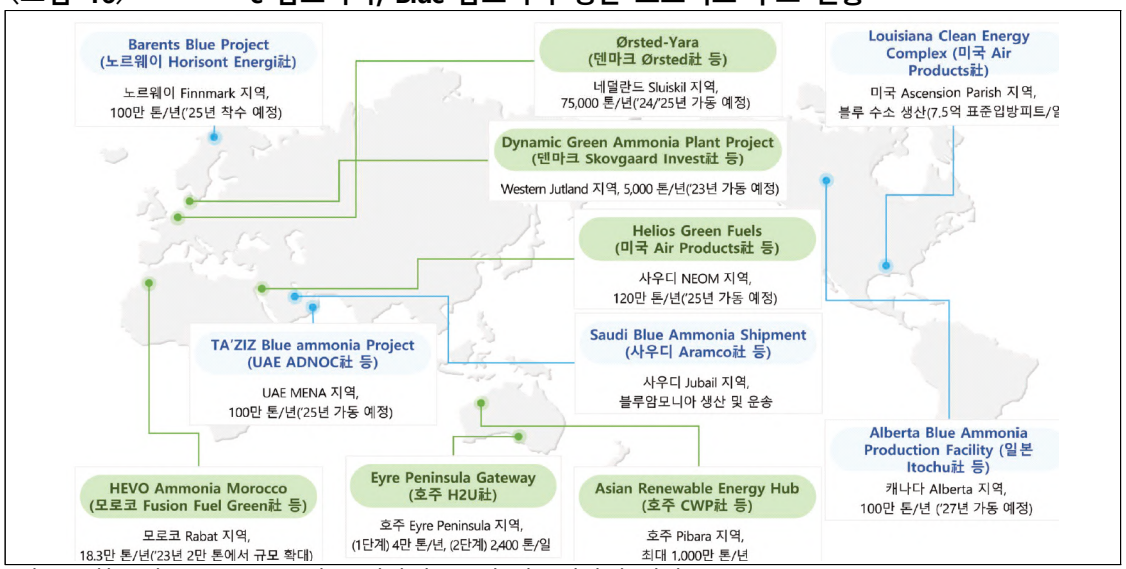


자료 : Maersk Mc-Kinney Moller Center(2022), MAN Energy Solutions(2022)

25) Blue-암모니아의 탄소 배출량은 기존 연료 대비 약 20% 수준으로 추정(WtW)

○ 재생에너지가 풍부한 호주, 중동, 미국, 캐나다 등의 국가에서는 e-수소를 암모니아로 변환하여 일본, 한국, 유럽 등 수요처를 대상으로 수출하기 위한 프로젝트 진행 중

〈그림 16〉 **e-암모니아, Blue-암모니아 생산 프로젝트 주요 현황**



자료 : 한국선급(2022), "무탄소 선박연료로서 암모니아의 전망"

❑ **암모니아는 연간 2억톤 규모의 유통시장을 갖고 있어 저장시설 등 인프라 활용이 가능하며, 벙커링 프로젝트 투자도 지속되고 있음**

○ 암모니아는 비료의 원료(79%)와 공업용(21%)으로 활용되어 기존 유통시장이 존재하며, 전 세계 120개의 항구에서 수입·수출 진행 중

○ 유럽을 중심으로 벙커링 프로젝트 투자가 증가하고 있고, 수요 충족을 위해 '50년까지 현재 대비 10~15배 이상 인프라 확장 필요

〈표 24〉 **발표된 암모니아 벙커링 시설 투자 프로젝트**

'22년 발표 프로젝트		'23년 발표 프로젝트
· 네덜란드 Rotterdam · 미국 South Louisiana · 브라질 Proto Central · 노르웨이 Slagen	· 호주 Pilbara · 오만 Duqm / Salalah · 일본 Yokohama · 싱가포르 Banyan	· 미국 Houston · 독일 Hamburg · 일본 Bunkering Vessel

자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ 특히, e-암모니아는 e-수소의 운반 수단으로 떠오르며 암모니아 연료의 성장이 예상

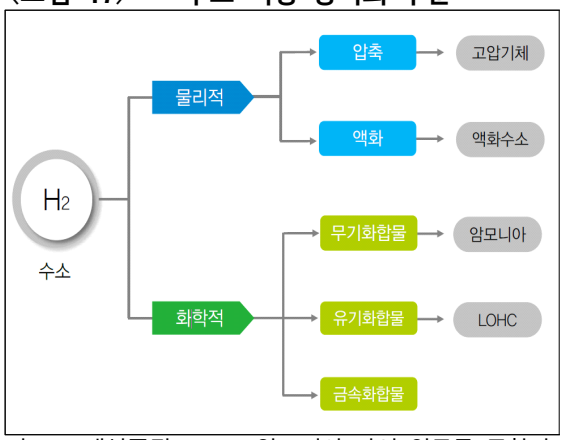
❍ 글로벌 수소 경제의 확대가 예상되나, 공급 지역과 수요 지역이 불일치하여 수소의 저장, 장거리 운반 방안 논의 중

- 재생에너지가 풍부한 호주, 중동, 미국, 캐나다 등에서 e-수소를 생산하여 일본, 한국, 유럽 등 수요 지역으로 공급 검토
- 수소는 액화온도가 영하 253℃로 매우 낮고 증발률이 높아, 현 기술 수준에서는 선박 운송 시 경제성이 낮음

❍ 수소(H_2)를 암모니아(NH_3)로 변환하여 운반 시 저장이 쉽고, 부피를 줄일 수 있어 암모니아 운반선이 수소 운반 역할을 할 것으로 예상

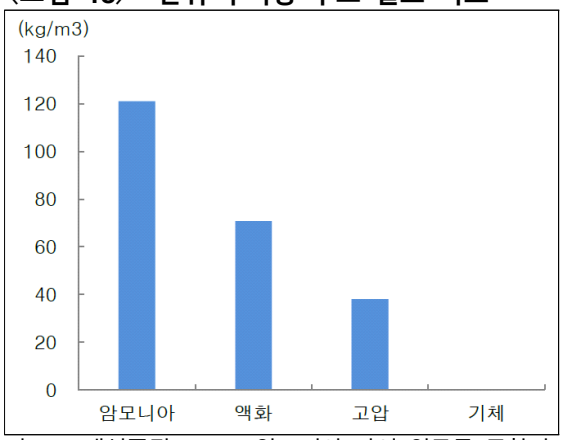
- 단위 부피당 수소 밀도는 액화 암모니아가 액화 수소 대비 약 1.7배 높음
- 물질 변환에 따른 추가 비용이 발생하나, 장거리 운송의 경우 운송비 절감 효과가 더 클 것으로 평가

〈그림 17〉 수소 저장 방식의 구분



자료 : 대신증권(2021), "암모니아 다시 인류를 구할까"

〈그림 18〉 단위 부피당 수소 밀도 비교



자료 : 대신증권(2021), "암모니아 다시 인류를 구할까"
주 : 고압 수소는 700bar 기준 38kg, 350bar 기준 23kg

❍ 암모니아 운반선은 화물창 증발 가스를 연료로 사용할 수 있어, 암모니아 운반선 수요 증가 시 암모니아 연료도 성장할 것으로 전망

- LNG 연료는 LNG 운반선 적용 후 타 선종에도 확대 적용되었으며, 암모니아 연료도 기술 검증 후 점차 타 선종까지 확대될 것으로 예상

❑ 선박 친환경 연료로서 암모니아에 대한 찬반 의견은 다음과 같음

〈표 25〉 친환경 연료로서 암모니아에 대한 찬반 의견

구 분	주 요 내 용
찬성	· TtW 기준 CO_2, SOx 배출 없음 · WtW 기준으로도 e-암모니아는 CO_2 배출 없음 · 원활한 공급망 보유, 광범위한 글로벌 생산 가능 · 자극적인 냄새로 누출 감지가 쉬움
반대	· 체적 에너지밀도가 낮아 탱크 크기 확보 필요 · 암모니아 전용 엔진 필요 · 생산 시 에너지 소모량 매우 높음(8MW/tonne) · e-암모니아 등 그린 암모니아는 가격이 매우 비쌈 · 독성이 매우 강함 · 주로 현재 화석연료(LNG 등)로부터 생산 · 암모니아(NH_3) 연소 시 NOx 배출량 높음

자료 : Clarkson(2023) 참고 및 업계 조사하여 당행 작성

〈참고 5〉 암모니아 특징

❑ 암모니아는 주로 비료, 화약의 원재료로 사용되어 기존의 인프라 활용이 가능

❍ (생산방식) 촉매제를 이용하여 질소와 수소를 반응시켜 생산하는 하버-보슈 공정*을 통해 주로 생산

* 고온고압(≥350℃, 250-300bar)에서 철 등의 촉매제를 이용하여 화학반응을 일으켜 암모니아를 합성하는 방식이며, 고온·고압으로 인해 생산과정에 다량의 에너지 소모 (반응식 : $N_2+3H_2 \rightarrow 2NH_3$)

❍ (특징) 암모니아는 무탄소 물질로 연소시 이산화탄소 배출이 거의 없음

- 부식성과 독성이 특징이며, 공기에 비해 가볍고 강한 냄새를 가짐
- 연료로 사용 시 액화된 암모니아를 주로 사용하며, 연소 속도가 느림
- 발열량과 에너지밀도는 각각 18.6MJ/kg과 12.7MJ/L로 기존 연료 대비 낮으나, 무탄소 연료로 친환경 에너지원으로서 장점이 있음

❍ 암모니아는 수소 대비 높은 에너지밀도를 가지고 있고, 기존 암모니아 인프라 사용이 가능하여 비교적 단기간 내 실용화 기대

(4) e-수소(Hydrogen, H_2)

❑ **(종합의견) 수소는 무탄소 연료이나, 저장이 어려워 현재 기술 수준으로는 대형 선박 적용 시 경제성 확보가 어려울 것으로 판단**

〈표 26〉 수소 연료 진단

구 분			수 준	비 고
탄소 저감			●	· 무탄소 연료로 탄소배출 거의 없음
인프라	연료 생산		△	· 본격 생산 시 공급 안정 예상
	공급망(벙커링)		X	· 선박 적용에는 제한적
추진 기술	선박 건조		X	· 액화온도가 매우 낮아(영하 253℃) 저장 기술이 핵심이며, 이후 연소 엔진, 연료전지 형태로 추진 예상
		연료 탱크	X	
		연료공급시스템	X	
		추진엔진	X	

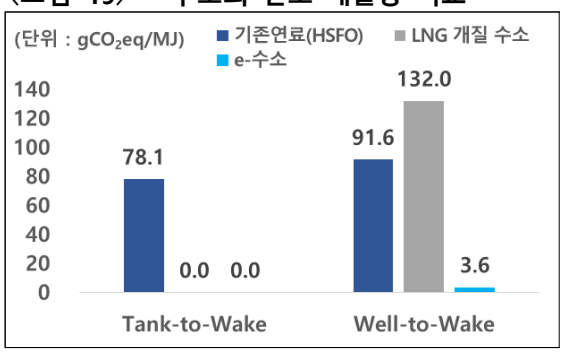
주 : ● 우수, ○ 양호, △ 보통, X 미흡

❑ **수소는 연료 내 탄소를 포함하지 않아 연소 시 탄소배출 없음**

❍ 수소는 탄소를 포함하지 않아 연소 시(TtW) 탄소배출 없음
- LNG 개질 생산 수소는 생산 단계에서 탄소를 배출하나, e-수소는 생산부터 연소까지(WtW) 무탄소 연료로 평가
- 또한, 수소는 연소 시 오염물질을 배출하지 않아 청정에너지로 평가

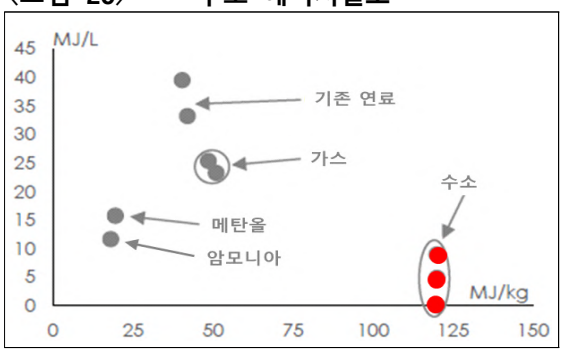
❍ 단, 액화온도가 영하 253℃로 매우 낮아 저장이 어려우며, 액화하더라도 체적 에너지밀도가 낮아 큰 용량의 탱크가 필요

〈그림 19〉 수소의 탄소 배출량 비교



자료 : MAN Energy Solutions(2022) 참고하여 당행 작성

〈그림 20〉 수소 에너지밀도



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행작성

❑ **재생에너지 확대 시 저장 수단으로서 e-수소의 생산도 증가할 것으로 전망되며, 유럽을 중심으로 수소 활용을 위한 인프라 투자 지속**

〈표 27〉 **발표된 수소 벙커링 시설 투자 프로젝트**

'22년 발표 프로젝트		
· 노르웨이 Egersund	· 벨기에 Oostende	· 폴란드 Gdynia
· 노르웨이 Sandnessjoen	· 프랑스 Rouen	· 독일 Helgoland
· 노르웨이 Mosjoen	· 스웨덴 Stockholm	· 중국 Yichang
· 캐나다 Halifax	· 네덜란드 Ijmuiden	· 말레이시아 TLPT
· 독일 Hamburg	· 에스토니아 Tallinn	

자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **단, 수소는 체적 에너지밀도가 낮아 내륙 수로 등 단거리를 항해하는 소형 선박에 적용될 것으로 예상**

❍ 수소 연료 탱크 크기는 기존 연료 대비 4.2배 수준으로, 대형선박 적용 어려움
- 수소를 선박 연료로 사용하기 위해서는 항해 거리를 짧게 하고, 소량 화물 적재, 벙커링을 자주 해야 하는 단점 존재
- 향후, 수소 저장 기술 향상 후 대형선박에 확대 적용될 것으로 예상

❑ **선박 친환경 연료로서 수소에 대한 찬반 의견은 다음과 같음**

〈표 28〉 **친환경 연료로서 수소에 대한 찬반 의견**

구 분	주 요 내 용
찬성	· TtW 기준 CO_2, SOx, NOx 배출 없음 · WtW 기준으로도 e-수소는 CO_2 배출 없음 · 연료전지로 사용 시 연소 엔진보다 에너지 효율 높음 · 수소에 대한 많은 투자로 광범위한 글로벌 생산 가능 · 중량 에너지밀도 매우 높음
반대	· e-수소 등 그린수소 생산비용 매우 비쌈 · 현재 대부분의 수소 생산 시 온실가스 배출 · 연료 공급, 벙커링, 운송 인프라가 매우 제한적 · 중량 에너지밀도는 높으나, 체적 에너지밀도가 매우 낮아 공간이 제한된 선상에서 사용 어려움 · 극저온(영하 253℃)으로 증발률이 높아 보관에 높은 기술 필요하며, 경제성 낮음

자료 : Clarkson(2023) 참고 및 업계 조사하여 당행 작성

〈참고 6〉 **수소 특징**

❑ **수소는 그린수소가 가장 친환경적이나 생산시 에너지 사용량이 많아 상용화가 어려우며, 현재 국내는 대부분 그레이수소 생산**

○ (생산방식) 수소 생산은 탄소배출에 따라 ❶그레이수소(부생수소, 개질수소), ❷블루수소, ❸그린수소로 구분

- (❶그레이수소) 원료에 따라 부생수소 및 개질수소로 분류
  · 부생수소 : 석유화학 공정 등의 부산물인 수소를 정제하는 방식으로 대량의 수소가 생산되나, 일부분 정유 공정*에서 재사용되고 생산량 확대에 어려움 존재
    * 정유 공정 : 황을 제거하기 위한 탈황공정 등에서 수소를 사용
  · 개질수소 : LNG를 물과 반응시켜 수소를 생산하는 방식으로 생산량 확대가 쉬우나 부산물로 이산화탄소가 생산*되어 이산화탄소에 대한 포집·활용 필요
    * 반응식 : CH_4(LNG) + $2H_2O$(물) → $4H_2$ + CO_2
- (❷블루수소) 개질수소 생산에서 발생하는 이산화탄소를 포집설비를 이용해 탄소배출을 줄인 탄소 중립적 수소 생산방식
- (❸그린수소) 신재생에너지 기반 전기를 활용하여 수전해 방식으로 수소를 생산하는 방식으로 탄소배출이 없는 친환경 연료

○ (특징) 수소는 이산화탄소를 발생하지 않는 친환경 연료이나, 상온에서 기체 상태로 부피가 커 이동 및 보관이 타 연료에 비해 불리

- 낮은 비등점(영하 253℃)을 가지고 있어 액화가 매우 어려움
- 그린수소 부산물은 모두 물로 생성되고, 발열량은 120MJ/kg로 기존 연료 2배 이상이나 에너지밀도가 8.5MJ/L(기체 기준)로 액화 암모니아의 65% 수준

Ⅲ. 온실가스 규제하 한국 조선산업 경쟁력

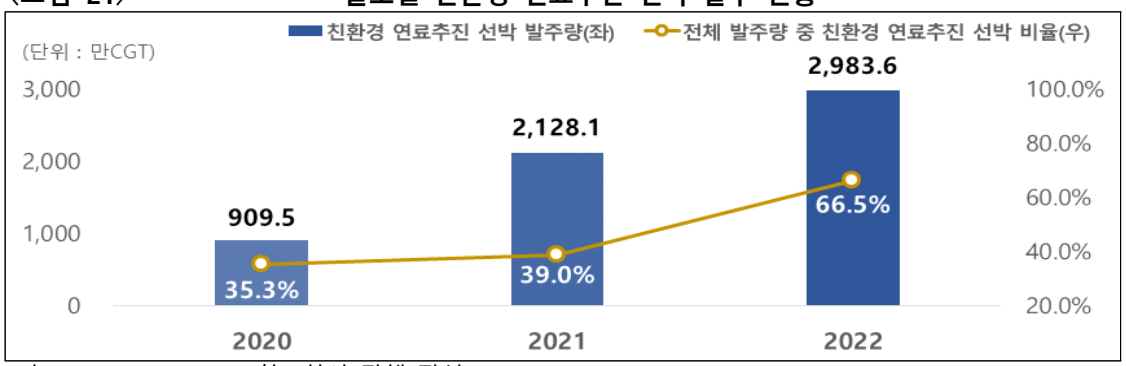
1. 친환경 연료추진 선박 시장 성장 추이

❑ **'22년 친환경 연료추진 선박[26]의 글로벌 발주량은 전년 대비 40.2% 증가하였으며, 전체 선박 발주량 중 66.5%를 차지**

○ '22년 글로벌 친환경 연료추진 선박 발주량은 '20년 대비 228.1%, '21년 대비 40.2% 증가

- 전체 수주량 중에서 친환경 연료추진 선박이 차지하는 비율도 '20년 35.3%, '21년 39.0%, '22년 66.5%로 지속 상승 중

〈그림 21〉 **글로벌 친환경 연료추진 선박 발주 현황**



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **일부 선주들은 기술 및 인프라 불확실성으로 인해 연료 채택을 관망하며, 향후 원활한 개조를 위한 "Ready" 선박을 발주**

○ Capable 선박은 즉시 연료를 사용할 수 있는 선박을 의미하며, Ready 선박은 향후 해당 연료로 전환하기 위해 선체 보강, 엔진, 연료공급시스템, 보일러 등 시스템의 일부가 설치된 선박을 의미

○ 일부 선주들이 연료 채택에 대한 불확실성 등으로 인해 Ready 선박을 발주 중이며, Ready 선박은 향후 개조를 통해 친환경 연료추진 선박으로 전환 예상

26) 연료를 즉시 사용할 수 있는 "Capable" 선박과 원활한 개조를 위한 "Ready" 선박을 포함

〈표 29〉 친환경 연료추진 선박 Capable, Ready 현황

(단위 : 만CGT)

구분		'20년		'21년		'22년	
친환경 연료추진 선박		909.5	(100.0%)	2,128.0	(100.0%)	2,983.6	(100.0%)
	Capable	730.1	(80.3%)	1,622.7	(76.2%)	2,456.5	(82.4%)
	Capable & Ready	5.7	(0.6%)	97.7	(4.6%)	272.2	(9.1%)
	Ready	173.7	(19.1%)	407.6	(19.2%)	254.9	(8.5%)

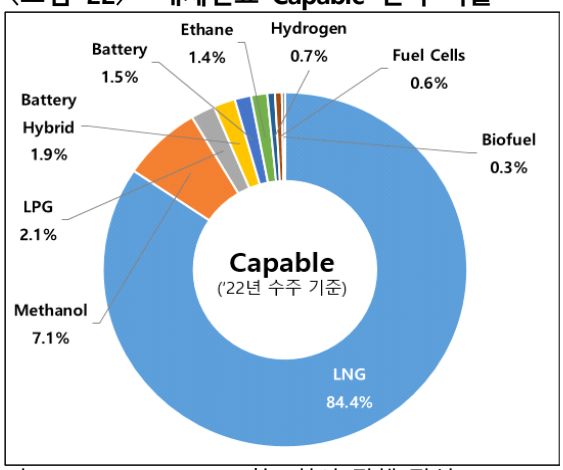
자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성

❑ **"Capable" 선박의 연료로 LNG가 주로 채택되고 있으나, 메탄올과 암모니아도 "Ready" 선박으로 수주되는 등 빠르게 성장 중**

❍ '22년 수주량 기준 Capable 선박의 연료로 LNG(84.4%)와 메탄올(7.1%)이 주로 채택되고 있으며,

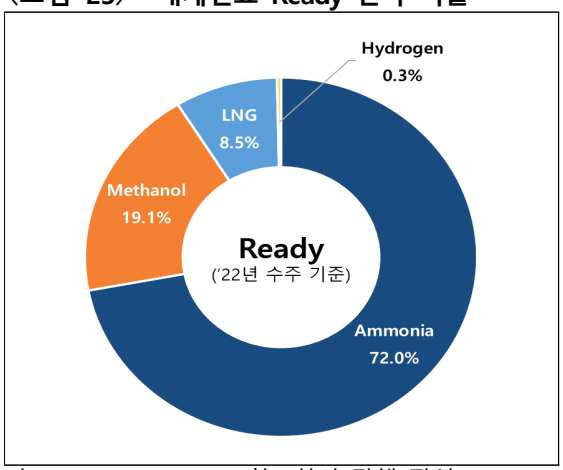
❍ Ready 선박의 연료로는 암모니아(72.0%), 메탄올(19.1%)이 채택
- 선주들은 향후 암모니아 추진 기술이 개발되고, 연료 인프라가 충분히 확보되었을 때 개조를 통해 대응할 것으로 예상

〈그림 22〉 대체연료 Capable 선박 비율



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성
주 : CGT 기준

〈그림 23〉 대체연료 Ready 선박 비율

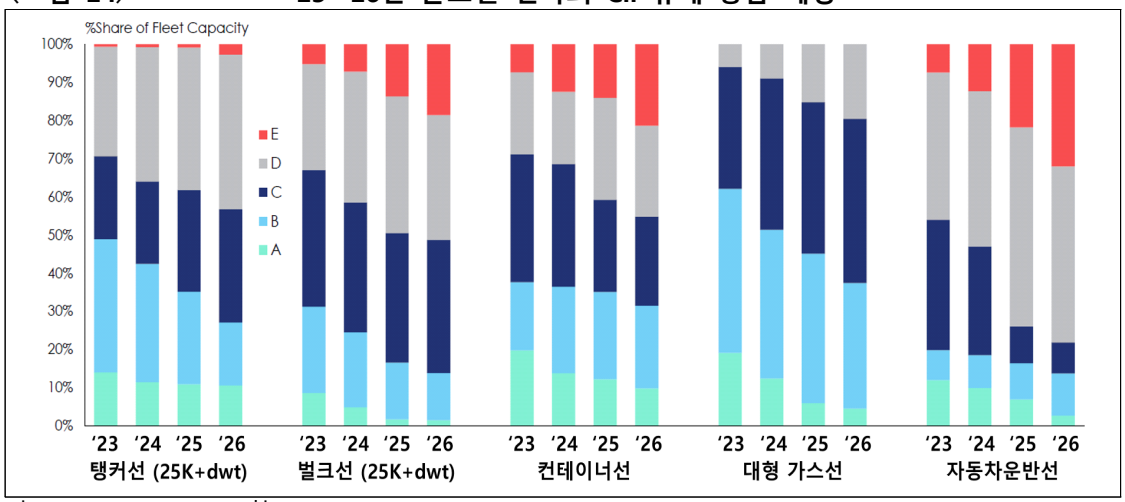


자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행 작성
주 : CGT 기준

❑ **국제해사기구의 CII 규제 기준에 충족하지 못하는 자동차운반선, 벌크선 등의 신조선박 건조 수요가 증가할 것으로 예상**(CII 규제 <표6> 참조)

○ 개선이 필요한 D, E등급 선박 비율은 약 30% 수준이며, D, E등급 비율은 자동차운반선, 벌크선, 컨테이너선, 탱커선, 가스선 순으로 높음

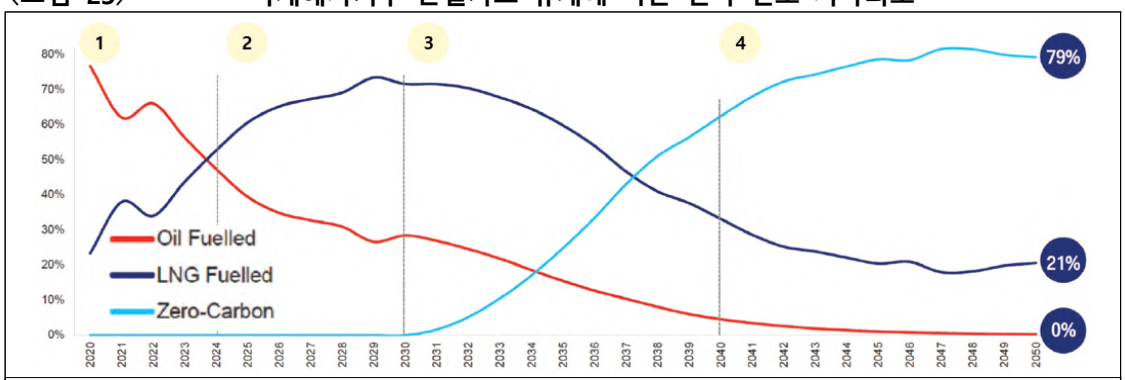
〈그림 24〉 '23~'26년 글로벌 선박의 CII 규제 등급 예상



자료 : Clarkson(2023) 참고

❑ **'50년 건조되는 선박의 연료는 무탄소 연료 79%, LNG 21%, 기존 연료 0%로 전망되며, 국제해사기구 규제 강화에 따라 더욱 가속화될 전망**

〈그림 25〉 국제해사기구 온실가스 규제에 따른 선박 건조 시나리오



1. 2020년대 초 : LNG 연료 선박 증가
2. 2024-30년 : LNG 연료 선박이 기존선박 추월
3. 2030년 : 무탄소 연료 선박 인도 시작
4. 2040년 : 무탄소 연료 선박이 주

자료 : Clarkson(2020), "The Shipping Sector To 2030 : Shipbuilding Forecast To 2030"

2. 온실가스 규제하 한·중·일 조선산업 동향

❑ '22년 한국, 중국, 일본의 글로벌 수주점유율은 94.9%로 선박 건조 시장을 과점

❍ '22년 수주점유율은 한국 35.9%, 중국 49.1%, 일본 9.9% 수준이며, 중국이 일본의 수주점유율을 흡수 중

- (중국 : 일본 수주점유율) ('20년) 43.5% : 13.1% → ('22년) 49.1% : 9.9%

❍ '20~'22년 자국 발주 비율은 한국 19.0%, 중국 44.6%, 일본 64.4%

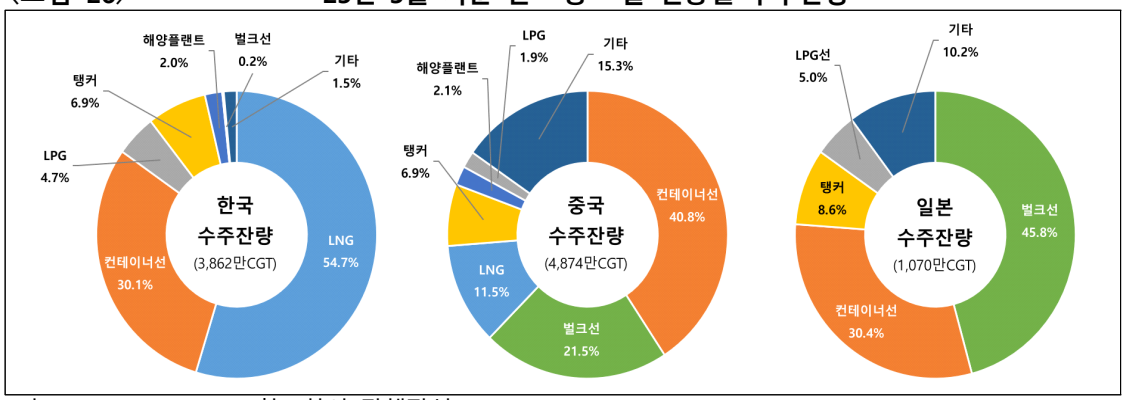
❑ 수주 선종 고려 시 한국은 중국과 경쟁하는 구도이며, 일본과는 경쟁 강도가 낮은 것으로 평가

❍ (한국) LNG 운반선과 중·대형 컨테이너선을 주로 수주하며, LNG 운반선은 경쟁력을 유지하는 반면, 컨테이너선은 중국과 경쟁 중

❍ (중국) 컨테이너선, 벌크선, 자동차운반선, 기타 선종 등을 주로 수주하며, 벌크선 분야에서 일본과 경쟁, 컨테이너선 분야에서 한국과 일본과 경쟁 중

❍ (일본) 벌크선과 컨테이너선을 주로 수주하며, 중국과 치열한 경쟁의 결과 점차 중국에 점유율을 뺏기고 있는 반면, 한국과의 경쟁 강도는 낮음

〈그림 26〉 '23년 3월 기준 한 · 중 · 일 선종별 수주잔량



자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행작성

❑ **친환경 연료추진 선박 수주량은 한국, 중국, 일본 순으로 많으며, 전체 수주량 중 친환경 연료추진 선박 수주 비율도 한국이 가장 높음**

❍ '22년 친환경 연료추진 선박 수주점유율은 한국 47.9%, 중국 45.3%, 일본 3.9%로 한국은 친환경 연료추진 선박 분야에서 경쟁력 높음

❍ 수주량 중 친환경 연료추진 선박의 비율도 한국이 88.7%로 중국 61.1%, 일본 30.2% 대비 높음

〈표 30〉 '22년 한 · 중 · 일 친환경 연료추진 선박 수주 현황

(단위 : 만CGT)

구분	한국	중국	일본
친환경 연료추진 선박 수주량 (글로벌 수주점유율)	1,430 (47.9%)	1,353 (45.3%)	118 (3.9%)
국가별 전체 수주량 중 친환경 연료추진 선박 비율	88.7%	61.1%	30.2%

자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행작성

❑ **최근 중국이 한국의 주력 수주 선종인 LNG 운반선을 자국 발주하여 건조실적을 확보 중이며, 벌크선 분야에서도 가격경쟁력을 바탕으로 일본의 물량을 흡수 중**

❍ 중국은 LNG 운반선을 Hudong Zhonghua 조선소 등에 자국 발주하며 건조역량을 확보하고 있음

- '22년 Hudong Zhonghua 조선소의 자국 발주 선박 수주량은 53.7% 수준이고, 특히 LNG 운반선을 주로 발주하며 건조역량 확보 중
- 현재 유럽 선주는 중국에 LNG 운반선을 발주하고 있지 않으나, 중국이 건조역량 확보 시 유럽 등으로 시장을 확대, 국내 조선업계에 위협 요인으로 작용 예상

❍ 또한, 중국은 가격경쟁력이 낮아 한국의 수주 비중이 낮은 벌크선 분야에서 일본의 수주 점유율을 흡수하며 빠르게 성장 중

- 중국과 일본의 글로벌 벌크선 수주점유율은 약 95% 수준이며, 벌크선 분야에서도 중국이 일본의 수주 점유율을 빠르게 흡수하며 성장 중
  · 글로벌 벌크선 수주점유율 : ('20년) 중국 61.1%, 일본 34.4%, 한국 0.0%
  ('21년) 중국 67.0%, 일본 27.3%, 한국 0.5%
  ('22년) 중국 70.8%, 일본 23.7%, 한국 0.1%

❑ **친환경 연료추진 선박 수주량, 조선소의 규모, 자국 발주 비율 등을 종합 고려 시 한국은 경쟁력 유지, 중국은 성장, 일본은 경쟁력 하락 중인 것으로 추정됨**

〈표 31〉 '22년 한 · 중 · 일 조선소별 친환경 연료추진 선박 수주량

(단위 : 만CGT)

국가	조선소	친환경 연료추진 선박 수주량		
		총 수주량(A)	자국 발주(B)	비율(B/A)
한국	**한화오션**	**381.5**	**94.3**	**24.7%**
중국	Hudong Zhonghua	355.0	190.8	53.7%
한국	**삼성중공업**	**347.0**	**94.3**	**27.2%**
	현대중공업	**343.5**	**17.1**	**5.0%**
	현대삼호중공업	**256.3**	**42.9**	**16.7%**
중국	Jiangnan SY Group	122.4	39.3	32.1%
	Dalian Shipbuilding	101.4	51.6	50.9%
	New Times SB	91.2	0.0	-
	Yangzi Xinfu SB	88.6	0.0	-
	CMHI (Jiangsu)	86.9	0.0	-
	Nantong COSCO KHI	56.0	56.0	100.0%
	Qingdao Beihai SB	54.7	0.0	-
	Zhoushan Changhong	51.7	0.0	-
	Dalian COSCO KHI	48.6	40.0	82.2%
한국	**현대미포조선**	**46.7**	**0.0**	**-**
일본	Imabari SB Marugame	42.6	42.6	100.0%
중국	GSI Nansha	39.9	24.2	60.8%
	Xiamen Shipbuilding	36.1	18.0	50.0%
	CSSC (Tianjin)	29.7	0.0	-
	Yantai CIMC Raffles	25.5	0.0	-

자료 : Clarkson(2023) 참고하여 당행작성

Ⅳ. 시사점

❑ **추진 기술에 대한 적극적인 연구개발을 통해 경쟁국 대비 기술 초격차를 달성하여, 기존에 수주하지 않던 선종까지 수주를 확대하는 등 향후 시황 변화에 대한 대비 필요**

❍ 향후 노후선박의 비중이 높아 선박 온실가스 규제 대응이 어려운 자동차운반선, 벌크선, 탱커선 위주로 신조 발주가 증가할 것으로 예상

- 선박 온실가스 규제 기준에 충족하지 못하는 노후선의 비중은 자동차운반선, 벌크선, 컨테이너선, 탱커선, 가스선 순으로 높음(<그림 22> 참조)
- 해운 리서치 전문기관 C社는 향후 벌크선, 탱커선의 신조 발주는 증가, LNG 운반선과 컨테이너선의 신조 발주는 감소할 것으로 전망

❍ 단, 노후선 비중이 높은 자동차운반선과 벌크선은 중국과 일본이 대부분 과점하고 있고, 한국은 가격경쟁력이 낮아 수주 확대가 어려운 상황

- 국내 조선소는 중국보다 가격경쟁력이 떨어지는 자동차운반선, 벌크선 수주 비율이 낮은 반면, 고부가가치 선박으로 평가되는 LNG 운반선과 대형 컨테이너선 수주에 집중
  · ‘22년 3월 국내 조선소 수주잔량은 LNG 운반선 54.7%, 컨테이너선 30.1% 수준
- 중국은 자국 발주를 통해 국내 조선업계가 주력으로 수주하고 있는 LNG 운반선과 대형 컨테이너선까지 건조역량을 확보하며 국내 조선업계를 위협

❍ 최근, 온실가스 규제에 대응하는 친환경 연료추진 기술의 중요성이 부상하고 있어, 저부가가치 선박으로 평가되던 선종에 친환경 연료추진 기술과 연비 향상 기술 등을 적용 시 선가 차별화가 가능할 것으로 예상

- 향후 온실가스 배출량에 따라 벌금을 부과하는 금전적 제재와 배출권거래제 등 시장기반조치가 시행될 것으로 예상되어, 선주들은 검증된 친환경 연료추진 기술과 연비 향상 기술을 확보한 조선소에 신조 발주를 확대할 것으로 예상

❍ 친환경 연료추진에 대한 적극적인 기술개발을 통해 중국 등 경쟁국 대비 기술 초격차를 달성하고 선가 차별화를 이룸으로써, 기존에 수익성이 낮아 수주량이 적었던 선종까지 수주를 확대하여 국내 조선업계 경쟁력 제고 필요

❑ 글로벌 선박의 약 90% 이상을 차지하고 있는 기존 연료추진 선박의 온실가스 규제 대비 필요

○ 현재 운항 중인 선박의 90% 이상이 기존 연료로 추진하는 선박이며, 신조 선박도 약 40%가량은 기존 연료추진 선박(Ready 포함)으로 수주되고 있음
- 친환경 연료추진 기술과 연료 인프라의 불확실성이 존재하여, 해운선사들은 연료 채택을 관망하며 Ready 선박과 기존 연료추진 선박을 발주

○ 기존 연료추진 선박은 ❶선박 연료로 Bio-연료 사용, ❷친환경 연료추진 선박으로 개조하는 등의 방안으로 온실가스 규제 대응 가능[27)]
- (❶Bio-연료 사용) 가장 실질적인 대안으로 평가되며 탄소중립 전 Bio-연료가 브릿지 연료로서 주도적 역할을 할 것으로 예상
- (❷친환경 연료추진 선박 개조) Ready 선박으로 건조된 선박 등이 추진 기술과 연료 인프라 불확실성 해소 시 선박을 개조하여 규제에 대응할 것으로 예상

○ 가장 실질적 대안으로 평가되는 Bio-연료에 대한 정부와 에너지 업계의 적극적인 투자가 필요하며, 조선업계는 추진 기술과 연비 향상 기술 등에 대한 연구개발을 통해 향후 발생할 선박 개조 수요에 대비 필요

❑ 친환경 연료 추진기 계통 국내 조선 기자재 업체의 시장 선점 지원 필요

○ 친환경 연료추진 선박에는 연료 탱크, 연료공급시스템, 추진엔진 등 핵심 기자재와 이를 구성하는 부수 기자재가 존재

○ 일반적으로 선주들은 선박 적용을 통해 안정성이 검증된 제품을 선호하여 후발 주자의 진입 장벽 존재
- 조선 기자재는 해상환경 사용 특수성으로 안전성, 내식성, 내구성 등 높은 신뢰성과 국제기준에 따른 엄격한 품질기준이 요구됨

○ 국내 기자재업체가 친환경 연료추진 분야 시장을 선점할 수 있도록 국내 조선 기자재 업체에 대한 지원 필요

27) 대부분 선주가 감속 운항을 통해 연비개선 중이나, 이는 단기 조치로 규제 대응에는 부적합

참고문헌

[국문자료]

대신증권(2021), “암모니아 다시 인류를 구할까”
대외경제정책연구원(2021), “EU 탄소감축 입법안(‘Fit for 55’)의 주요 내용과 시사점”
_____(2022), “글로벌 수송 부문의 온실가스 감축 현황과 시사점 : 해운 분야를 중심으로”
대한무역투자진흥공사, 한국산업은행(2019), “글로벌 친환경 선박 기자재 시장동향 및 해외시장 진출 전략”
대한무역투자진흥공사(2023), “벨기에 공항·항구를 통해 살펴보는 EU 운송 탈탄소화 동향”
부산대학교(2023), “수소추진선박 주요 기술 및 미래전망”, KIEI 친환경 선박연료 전망 세미나
에너지경제연구원(2021), “EU Fit for 55 패키지와 탄소국경조정의 주요 내용과 시사점”
인천대학교(2023), “친환경 선박연료의 종류 및 장·단점 비교분석과 IMO 온실가스 규제 대응 전략, KIEI 친환경 선박연료 전망 세미나
카이스트(2022), “액체수소 연료 선박 및 액체수소 대륙간 수송의 도전과 전망”, 코마린 컨퍼런스 2022
한국기계연구원(2023), ”그린 암모니아 제조·생산기술과 암모니아 추진선박의 현주소 및 미래전망“, KIEI 친환경 선박연료 전망 세미나
한국산업기술평가관리원(2020), “IMO 친환경선박 관련 규제 및 대응 방안”
_____(2020), “친환경선박 대체연료 기술개발 동향”
한국산업은행(2021), “친환경 선박 기술 및 시장 동향”
한국선급(2021), “국제해운 관련 EU Fir for 55 규제 소개 및 파급영향 분석”
_____(2021), “CII 규제 대응 지침서”
_____(2022), “Regulation and Countermeasures for the Reductioin of GHG in ships”, 코마린 컨퍼런스 2022
_____(2023), “무탄소 선박연료로서 암모니아의 전망”

_____(2023), “바이오 연료의 현주소 및 미래전망”, KIEI 친환경 선박연료 전망 세미나
_____(2023), “온실가스 감축 중기조치 논의 사항”, 2023 국제해운부문 해양환경 정책설명회
_____(2023), “탄소중립 과정에서의 바이오 선박유”, 2023 국제해운부문 해양환경 정책설명회
_____(2023), “IMO Nesw Flash MEPC 80”
한국에너지기술연구원(2023), “그린 메탄올 제조·생산기술과 메탄올 추진선박의 현주소 및 미래전망”, KIEI 친환경 선박연료 전망 세미나
한국조선해양(주)(2022), “암모니아 연료추진선박 및 운반선 개발 현황”, 코마린 컨퍼런스 2022
한국해사안전국제협력센터(2023), ”IMO 소식 & 국제해사동향 23-5호“
한국해양교통안전공단(2023), “선박 온실가스 감축전략 개정 결과”, 2023 국제해운부문 해양환경 정책설명회
한국해양수산개발원(2023), “국제해운 온실가스(GHG) 환경규제 동향 ; IMO, EU 대응을 중심으로”

[영문자료]

ABS(2023), “EU-ETS Amendments”, Regulation News
____(2023), “Hydrogen Fueled Vessels”
____(2023), “MEPC 80 Brief”, Regulation News
BV(2022), “Alternative Fuels Outlook For Shipping”
Clarksons Research(2020), “The Shipping Sector To 2030 : Shipbuilding Forecast To 2030”
_____(2023), “LNG Sector Update Volume 5”
DNV(2022), “Energy Transition Outlook 2022”
_____(2022), “Hydrogen Forecast to 2050”
_____(2022), “Maritime Forecast To 2050”
_____(2022), “MEPC 79 in focus”
_____(2023), “Alternative ship Fuels – Focus on Biofuels & Methanol”
European Parliament(2022), “Fit for 55 Package”

_____(2023), "'Fit for 55' Package : The FuelEU Maritime proposal"
IMO(2019), "IMO Action to reduce Greenhouse Gas Emiisions form International Shipping"
Maersk Mc-kinney Moller Center(2022), "Maritime Decarbonization Strategy 2022"
_____(2022), "Prepareing Container Vessels for Convention to Green Fuels"
_____(2022), "The role of onboard carbon capture in maritime decarbonization"
_____(2023), "Green Corridors Pre-Feasibility Phase Blueprint"
_____(2023), "Managing Emissions from Ammonia-Fueled Vessels"
Maersk Mc-kinney Moller Center, EDF+Business(2022), "The role for investors in decarbonizing global shipping"
Man Energy Solution(2023), "Potential For Duel-Fuel Conversions of Marine Engines"