



IMO 중기조치가 바꾸는 해운 탄소중립 지도:

연료비와 탄소세의 구조 변화 분석



IMO 중기조치가 바꾸는 해운 탄소중립 지도:

연료비와 탄소세의 구조 변화 분석

발간월 2025년 7월

저자 한유민 | 기후솔루션 해운팀 | yumin.han@fourclimate.org

모델링 플랜잇 홍상현, 지혜련

디자인 sometype

기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다. 리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고, 근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.

목차

1	서론	5
2	방법론 및 시나리오	6
	방법론	6
	데이터	7
	가정	7
	시나리오 정의 및 구성	10
	① 미준수 시나리오 (Business As Usual, BAU)	
	② 기본목표 시나리오 (Base Target)	
	③ 강화목표 시나리오 (Direct Compliance Target)	
3	결과	11
	연료에 따른 비용 분석 예시	11
	A. 시나리오에 따른 연료구성	13
	① 미준수 시나리오	
	② 기본목표 시나리오	
	③ 강화목표 시나리오	
	B. 시나리오별 연료 비용 및 탄소 비용	17
	C. 시나리오간 상대적 비용 분석	19
4	결론 및 시사점	21
	부록: 시나리오별 연간 선박 연료 소비 비중의 변화 도표	23
	참고문헌	24

요약

2025년 4월, 국제해사기구(IMO)는 해운 부문의 온실가스 감축을 위한 중기조치를 승인하며, 국제해운의 탄소중립 이행 경로에 중대한 전환점을 제시하였다. 기존의 에너지 효율 중심 규제를 넘어, 총량 감축과 가격 부과를 중심으로 하는 '넷제로 프레임워크'가 공식화되었다.

본 보고서는 넷제로 프레임워크가 해운사의 연료 선택, 운용 전략, 운송 비용 구조에 어떤 영향을 미치는지를 선형계획법 기반의 비용 최적화 모델을 통해 분석하였다. 특히, 연료 온실가스 배출 집약도(GFI)를 기준으로 \$100에서 최대 \$380/tCO₂eq까지 부과되는 탄소가격(Remedial Unit) 구조를 반영하여, 세 가지 시나리오(①미준수, ②기본목표, ③강화목표)를 통해 연료 소비, 연료비, 탄소세 부담 변화를 비교하였다.

정책 대응 유형에 따라 총비용의 흐름이 극명하게 달라지며, 주요 분석 결과는 다음과 같다.

- ① **미준수 시나리오**에서는 고탄소 연료에 높은 수준의 탄소세가 부과되지만, 현행 탄소가격 수준은 무탄소 연료 전환을 유도하기에 정책 유인이 부족하다.
- ② **기본목표 시나리오**는 \$100/tCO₂eq의 탄소세와 연료 전환 비용을 절충하며, 정책 수용성과 유인 효과 간 균형을 확보하는 경로로 평가된다.
- ③ **강화목표 시나리오**는 탄소세 부담 없이 조기 연료 전환만으로 규제를 준수하지만, 단기적으로 가장 높은 비용 부담을 수반하여 제도적 보완이 요구된다.

이러한 결과는 시장 자율 메커니즘만으로는 국제해운의 탈탄소 전환이 실현되기 어렵다는 점을 시사한다. 따라서 강화목표를 이행한 선박에 보상으로 제공되는 보상유닛(Surplus Unit)의 가격체계와 거래 규칙을 조속히 구체화하여, 조기 전환 기업에 대한 실질적이고 충분한 보상 구조와 시장 예측 가능성을 확보하는 것이 시급하다.

아울러 정부는 점차 수요가 확대될 무탄소 연료의 생산·공급 인프라를 조기에 구축하고, 항만 중심의 공급망 정비, 연료비 차액 보조, 세제 혜택, 녹색금융 연계 등 국가 주도의 전환 정책조합을 핵심 과제로 추진해야 한다. 기본목표 시나리오를 현실적 출발점으로 삼고, 강화목표로의 점진적 유도는 산업 수용성과 정책 실효성, 그리고 실질적인 온실가스 감축을 모두 충족할 수 있는 합리적 전략이다.

IMO 중기조치는 단순한 규제를 넘어, 2050년 해운 탄소중립 실현을 위한 첫 정책 이정표다. 지금의 정책 대응이 향후 산업 전환의 속도와 비용을 결정할 것이며, 한국은 이를 주도적으로 설계하고 대응해 나가야 한다.

1. 서론

국제해운의 패러다임이 근본적으로 재설계되고 있다. 2025년 4월, 국제해사기구(IMO)는 제83차 해양환경 보호위원회(MEPC 83)에서 해운 부문 온실가스 감축을 위한 중기조치, 이른바 'IMO 넷제로 프레임워크(IMO Net-zero Framework)'를 승인했다. 이는 단순히 새로운 제도를 하나 추가한 것이 아니다. 기존에 효율을 중심으로 하던 규제 패러다임이 총량 감축과 가격 부과를 핵심으로 하는 새로운 규율 체계로 전환되었음을 의미한다. 해운은 더 이상 에너지 효율을 개선하는 것으로 책임을 다할 수 없는 산업이 되었다.

세부 내용은 아래 [표 1]에 정리되어 있으며, 국제해운 주요 규제 별로 적용 대상 온실가스, 산정 원칙, 규제 대상 및 배출 관리 방식에 대한 개요를 제시하고 있다.

[표 1] 국제해운 주요 규제 및 세부 내용

규제	기관	GHG 대상	산정 원칙	규제 대상	배출 관리
EEDI	IMO	CO ₂	Tank to Wake	개별선박	설계 에너지 효율 지수
EEXI	IMO	CO ₂	Tank to Wake	개별선박	설계 에너지 효율 지수
CII	IMO	CO ₂	Tank to Wake	개별선박	운항 에너지 효율 지수
EU-ETS	EU	CO ₂	Tank to Wake	개별선박	온실가스 배출량
FuelEU Maritime	EU	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Well to Wake	선단	GHG Intensity
GHG Fuel Standard	IMO	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Well to Wake	선단	GHG Intensity

이번 조치의 핵심은 온실가스 배출 집약도(GHG Fuel Intensity, GFI)를 기준으로 연료의 온실가스 배출 강도를 평가하고, 이를 초과하는 배출량에 탄소세를 차등 부과하는 가격 기반 규제 체계가 도입되었다는 것이다. 설정된 GFI의 일정 기준을 초과할 경우, 이중 가격 체계를 통해 Tier 1 미준수 구간에는 \$100/tCO₂eq, Tier2 미준수 시에는 추가로 \$380/tCO₂eq의 높은 수준의 부과금(Remedial Unit, RU)을 납부하거나 초과유닛(Surplus Unit, SU) 구매를 통해 규제를 준수하게 한다. 이는 온실가스 감축이 선택이 아닌 비용의 문제로 전환되었음을 뜻한다. 탄소 감축목표를 초과하는 연료를 사용하는 선사는 실질적으로 연료를 구매하면서 동시에 배출권을 구매해야 하는 구조에 직면하게 된다.

본 연구는 IMO MEPC83에서 승인된 중기조치의 탄소 감축 경로 및 탄소세 구조가 해운산업의 연료전환과 운송 비용에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는데 목적이 있다. 이를 위해 규제 미준수(BAU), 기본목표(Base target) 대응, 강화목표(Direct Compliance) 대응으로 감축 경로에 따른 세가지 시나리오를 설정하고 연료전환 추가비용과 탄소 가격 부과에 따른 해운사 운용 비용의 변화를 예측하였다. 결론적으로 중기조치가 해운산업에서 유의미한 경로를 유도할 수 있는지 살펴보고, 시장 선택이 아닌 정책 개입이 어디까지 필요한지, 산업의 대응 전략은 어떤 균형점을 찾아야 하는지 등 실효적 질문에 대해 답하고자 한다.

2. 방법론 및 시나리오

방법론

국제해운 부분의 탈탄소화는 더 이상 책임 경영 아래의 선언적 과제가 아니다. 이는 비용에 기반한 실리적 접근이 요구되는 재무적 과제로 전환되었으며, 정량적인 계산과 이를 기반으로 한 전략적 의사결정이 필수적인 영역이 되었다. 본 연구에서는 MEPC 83/7/22 페이퍼¹에서 사용한 선형계획법(Linear Programming, LP) 기반의 최적화 모형을 적용하여, 해운 운용 시 발생하는 온실 가스 배출과 연료 전환 비용이라는 이중 제약 조건 아래, 가장 비용 효율적인 연료 조합을 도출하고자 하였다.

해운 부분의 탈탄소 전환에 있어 가장 큰 어려움은, 본질적으로 비용 최소화라는 경제적 조건과, 파리 기후 협정을 포함한 온실가스 배출 저감이라는 환경적 목적에 있어 상호간의 충돌이다. 그러나 선형계획법을 활용할 경우, 연료 전환의 시점과 속도를 정량적으로 분석할 수 있으며, 가장 경제적인 전환 경로를 도출하는데 효과적이다. 특히 전 생애주기(Life Cycle analysis, LCA)를 고려했을 때 높은 초기 비용이 수반되는 차세대 e-fuel 역시, IMO의 감축 목표를 충족하기 위한 전환 연료로 본 모델에서 유효하게 분석될 수 있다. 또한, 해운 부분의 연료 선택은 연료 단가, 에너지 밀도, 탄소배출강도(Well-to-Wake 산정기준)와 같은 선형적 속성을 지닌 변수들에 의해 결정되므로, 선형계획법을 적용하면 문제를 보다 단순화하면서도 높은 계산 효율성을 유지할 수 있다.

본 연구는 IMO MEPC 83에서 승인된 중기조치의 넷제로 프레임워크를 중심 분석축으로 삼아, 선박 건조비용(CAPEX)보다는 연료비용(OPEX)의 변동성에 중점을 두고 탈탄소 전환 경로를 정량적으로 분석하였다. 중기조치는 연료의 전과정 온실가스 배출량(Well-to-Wake)을 기준으로 감축을 유도하는 구조로 설계되어 있으며, 이에 따라 기존 화석연료(HSFO, LSFO, LNG 등)는 높은 배출 계수로 인해 향후 상당한 비용 부담을 초래할 수 있다. 반면, 재생에너지 기반의 e-연료나 RFNBO(Renewable Fuels of Non-Biological Origin) 계열 바이오연료는 제도적 인센티브를 통해 경쟁력을 확보하며, 무탄소 연료의 경우 추가적인 우대가 부여된다.²

이러한 구조적 변화 속에서 본 연구가 연료비를 분석의 중심에 둔 이유는 해운산업의 비용 구조와 의사결정 방식에서 비롯된다. 연료비는 해운산업의 전체 운영비용에서 가장 큰 비중을 차지하며, 국제 연료 시장의 가격 변동, 탄소세 도입 등 정책 개입이 직접적이고 즉각적으로 반영되는 변수로서 운항 전략에 결정적인 영향을 미친다. 반면, 선박 건조비용은 투자 회수에 수십 년이 소요되는 장기 고정비용으로, 단기간 내 투자 결정이 어려운 항목이다. 특히 이번 중기조치의 넷제로 프레임워크는 2040년 기본목표의

¹ IMO MEPC 83 "Cost-effective pathways to reach net zero by 2050 for the international shipping sector: fuel transition outlook and policy implications"

² IMO MEPC 83 "Report of the nineteenth meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 19) and the Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships"

감축목표(65%)만을 제시하고, 2035년 이후의 감축목표는 구체화하지 않아 이행 경로의 불확실성이 더욱 크다. 실제로 해운사들은 연간 연료비를 기준으로 운항 전략을 유동적으로 조정하고 있으며, 선박 건조나 개조는 장기 자본 계획에 따라 이루어진다. 이에 따라 본 연구는 2035년까지의 중기조치 이행 기간에 대해 연료비를 중심으로 전환 경로를 분석하였다.

데이터

본 연구에서 사용된 기초 데이터는 IMO의 글로벌 통합 선박정보시스템(GISIS) 데이터베이스에서 제공한 2019~2021년 기간 동안의 연료 소비 데이터이다. 이 데이터는 MARPOL 부속서 VI 제22A규칙에 따라 5,000 GT 이상 선박의 연료 소비를 포함하며, 이는 보고된 총톤수의 약 93%를 차지한다. 구체적으로, 2021년 기준으로 전 세계 5,000 GT 이상 선박 15,387척의 연료 소비 데이터를 분석하였고, 해당 선박들은 연간 약 2억 1천만 톤의 연료를 소비하는 것으로 나타났다. 화석연료와 대체연료 비용에 대한 전망은 최근(2025) 거래된 시장 가격 및 연구기관(2024)³의 연구 시나리오를 기반으로 하였다. 각 연료의 전과정(Well to Wake) 온실가스 배출 강도는 FuelEU Maritime(2023)⁴를 바탕으로 적용하였다.

가정

본 연구에서는 IMO의 중간조치에서 제시된 탄소감축 경로와 탄소 가격이 도입 될 경우, 해운 부문의 연료비 부담이 증가할 것으로 보고, 경로별 비용 차이를 분석하기 위한 기반으로 다음과 같은 가정을 설정하였다.

첫째, 선박 연료 소비량은 IMO DCS(Data Collection System)⁵ 기준 연간 소비량을 기반으로 하되, 입력값에서는 사용 기술, 배출 집약도, 전환 가능성을 고려하여 화석연료(HFO, MGO, LFO 등), 바이오연료(B30, bio-methanol 등), e-fuel 및 무탄소 연료로 구분하였다. 이는 유사한 에너지 밀도 및 단가 구조를 공유하는 연료군 내에서의 비용 비교를 용이하게 하기 위함이며, 정책적 적용 가능성과 상업화 수준도 고려하였다.

둘째, 바이오 연료(bio-MGO, bio-liquefied methane, bio-methanol) 사용에는 현실적 제약이 존재한다. 바이오 연료는 이론적으로는 드롭인(Drop-in) 연료로서 기존 인프라를 활용할 수 있는 장점이 있으나, 실제 적용에는 생산량의 제약과 환경적 우려⁶ 그리고 가격 불안정성의 문제가 존재한다. 특히, 바이오 연료는 항공 부문에서는 SAF(Sustainable Aviation Fuel)로 분류되어 국제적 감축목표 이행을 위한 전략적 자원으로 우선시되고 있어 해운 부문에서는 가격 경쟁에서 밀릴 가능성이 높다. 이에 따라 해운 부문에서 합리적인 가격의 안정적인 바이오 연료 공급을 확보하기 어려울 가능성이 높으므로 비용은 보수적 추정치⁷를 사용하였다.

³ Methanol Institute 2024 "Economic value of methanol for shipping under fuelEU maritime and EU ETS"

⁴ European Commission 2023 "FuelEU Maritime Initiative"

⁵ IMO 2021 "Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS"

⁶ 한국선급(KR) 2024 "선박 연료로서 바이오연료의 현황과 전망"

⁷ Argus Article 2025 "Biomethanol-methanol diff widens, UK demand ticks up"

또한, 바이오 연료의 원료가 되는 바이오매스가 농업 및 임업 자원을 활용할 경우, 식량 생산과 토지 이용에 미치는 부정적 영향에 대한 우려도 존재한다. 생태계 보전 및 지속가능성 측면에서 문제에 대한 의식이 높아지는 가운데, 연료 전주기 관점에서 보았을 때, 바이오 연료는 원료의 종류 및 생산 방식에 따라 온실가스 배출 계수가 크게 달라질 수 있는 가능성이 있다.⁸ 이러한 특성으로, 탄소 감축 효과에 대한 신뢰성에 의문을 제기할 수 있고 정책 상 일관성을 저해할 수 있는 잠재적 위험 요소이다. 이에 따라, IMO는 연료의 전과정 평가(LCA) 방법론의 과학적 검토, 배출량보고를 위한 표준화, 지속가능성 측면에서의 간접토지이용변화(ILUC) 등이 고려된 “해양 연료의 생애주기 온실가스 강도에 관한 GESAMP 작업반(GESAMP Working Group on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels)”을 구성하고 관련 지침을 보완 중에 있다. 그러므로, 본 연구에서는 현재 가장 구체화된 계수를 제공하고 있는 FuelEU Maritime(2023)의 LCA 계수를 기반으로 탄소 배출량을 산정하였다.

셋째, 연료 전환 속도는 연간 최대 10%로 제한하였다. 이는 기술, 물류, 산업적 제약을 고려한 수치로 2025년 기준 총 연료 사용량을 기준으로 매년 최대 10% 까지만 새로운 연료 전환이 가능하다는 가정이다. 전환을 위해서는 선박 개조, 연료 공급 인프라 확대, 항만 설비 정비 등의 과제가 포함되어야 하며 단기간에 급격하게 진행되기 어려운 항목이다. 현재 글로벌 조선업계의 연간 선박 건조 능력은 전체 선박 총 적재량(DWT)의 약 7.5% 수준으로 추정⁹되며, 기존 선박 개조를 포함하더라도 전환 속도가 급격히 증가하기는 어려운 상황이다. 이를 고려할 때 연간 10%의 전환 속도는 해운업계가 더욱 유연한 방식으로 연료 전환을 추진할 수 있도록 하면서도, 탄소 감축목표를 달성하기 위한 기술 혁신과 인프라 구축 속도를 반영한 현실적인 한계를 적용한 수치로써 무리한 전환 가정으로 인해 분석 결과가 비현실적으로 왜곡되는 것을 방지하고자 하였다.

넷째, 운송 수요는 모든 시나리오에서 동일하게 유지하였다. 이는 탈탄소화 정책의 효과를 더 명확하게 분석하기 위한 가정으로, 연료 믹스 변화가 해운산업의 총에너지 수요 변동과 혼재되지 않도록 하기 위함이다. 해운 부문의 총운송량 및 에너지 수요는 글로벌 경제 성장, 무역 흐름 변화, 국제 규제 등에 따라 변동 가능성이 존재하지만, 이러한 외부 요인의 영향을 포함할 경우 연료 전환 정책의 효과를 정량적으로 분석하기 어려워진다. 또한, 외부 요인들에 의한 변화는 해운 부문의 에너지 수요 및 운송량에 영향을 미칠 수 있지만, 본 연구는 특정 정책에 따른 조건 별 시나리오에 의해 연료 믹스 변화가 탄소 배출에 미치는 영향을 직접적으로 분석하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 각 시나리오에서 동일한 운송 수요를 유지하여, 연료 선택 변화와 정책적 조치가 해운산업의 탄소 배출에 미치는 영향을 직접적으로 비교할 수 있도록 하였다.

다섯째, 연료의 가격과 배출계수는 외생 변수로 주어지며, 시계열적으로 변화시키지 않고 동일 가격으로 가정하였다. 본 연구에서는 연료별 단가 및 배출계수를 일정하게 유지하는 조건하에 시나리오별 변화와 연료 조합 변화 결과를 직접적으로 비교할 수 있도록 하였다.

⁸ 기후솔루션(SFOC) 2024 “해운 중간 대체 연료의 환경 리스크와 한중일 연료 활용 계획”

⁹ Clarksons Research Data 2010년~2024년 신규 건조량 범위 DWT 기준 (최종 접속일 2025년 3월 24일)

여섯째, 중기조치와 같은 국제 규제는 지역별 이행 속도와 적용 기준에 차이가 존재 할 수 있다. 예로, 유럽연합의 FuelEU Maritime 및 EU-ETS, 영국의 UK-ETS, 미국의 IRA(Inflation Reduction Act), 그리고 중국·일본·한국 등 주요 해운국도 각기 다른 정책적 접근과 감축 기준을 채택하고 있다. 그러나, 본 연구에서는 지역별 규제 차이를 개별적으로 반영하지 않고, 국제해운 시장을 하나의 통합된 단일 선단으로 간주하여 동일한 이행속도와 감축 기준을 적용하였다.

마지막으로 IMO 넷제로 프레임워크에 포함된 초과유닛(SU) 제도를 모델링에 반영하지 않았다. SU는 강화목표(Tier 1)를 초과 달성한 선박에 대해 IMO가 초과 감축분을 단위화하여 발급하는 배출권으로, 기본목표(Tier 2)조차 달성하지 못한 선박은 높은 수준의 탄소세(\$380/tCO₂eq)를 납부하거나, 다른 선박 으로부터 SU를 구매해 초과 배출을 상쇄해야 한다. 다만, SU는 아직 구체적인 설계 기준이나 적용 방식이 마련되지 않은 초기 개념으로, 이번 분석은 SU 거래를 제외한 상태에서 제도 이행에 따른 연료비 및 탄소세 구조 변화를 분석하였다. 또한, 중기조치의 연간 GFI 기준은 2028년부터 2035년까지만 감축률이 설정되어 있어, 연구 범위 역시 해당 기간으로 한정하였다.

이러한 방법론과 가정을 바탕으로, 본 연구는 국제해운 부문의 탈탄소화 전략에 대한 비용 최적화 분석을 수행하며, 다양한 정책적 시나리오에 대한 분석을 통해 실현할 수 있는 탈탄소화 경로 및 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

시나리오 정의 및 구성

중기조치에 따르면 선박이 사용하는 연료의 온실가스 배출 집약도에 따라, 연료 1톤당 추가적으로 부담해야 할 부과금(Remedial Unit, RU)은 크게 세 가지 구간으로 나누어 산정된다. 구간 설정에 따라, 각 시나리오는 중기조치의 GFI 기준에 따른 탄소세 적용 방식과 연료전환 수준에 따라 구분되며, 탈탄소 전략의 선택에 따라 해운산업이 부담하게 될 비용 구조를 비교 분석할 수 있도록 구성되었다. 모든 시나리오에서 IMO가 시행 중인 EEXI(Energy Efficiency Existing Ship Index)와 CII(Carbon Intensity Indicator)는 공통적으로 적용된다고 가정한다.

1 미준수 시나리오 (Business As Usual, BAU)

중기조치의 GFI 감축목표와 무관하게, 현재의 기술 및 시장 추세가 지속된다고 가정하는 시나리오이다. 추가적인 정책 개입 없이 기존연료 사용 패턴이 유지되며, 화석연료 및 대체연료에 대한 사용 제한이 없는 상태를 전제한다. 자연스럽게 기본목표와 강화목표 모두 달성하지 못하며, 탄소세는 낮은 수준인 \$100/tCO₂eq(RU 1)와 높은 수준인 \$380/tCO₂eq(RU 2)가 일괄 적용된다. 본 시나리오는 정책 미개입 하에서 시장 주도형 탈탄소화 가능성과 비용 구조의 변화를 판단하는 기준선 역할을 수행한다.

2 기본목표 시나리오 (Base Target)

중기조치의 기본목표 감축경로 준수를 기반으로 하여, 점진적인 연료전환과 중간 수준의 탄소세(RU1)를 병행하는 절충형 시나리오이다. 탄소 가격은 \$100/tCO₂eq로 설정되며, 연료전환에 따른 연료비 증가와 탄소세 부담을 동시에 고려하여 정책 수용성과 유인 효과 간의 균형 가능성을 평가할 수 있다. 국제사회에서 논의되는 현실적 전환 전략의 재현 모델로 기능한다.

3 강화목표 시나리오(Direct Compliance Target)

IMO의 중기조치를 적극 이행하여 탄소세 부과 없이 직접적인 연료전환 방식으로 강화목표의 감축경로를 달성하는 시나리오이다. 탄소세는 부과되지 않으며, 규제 준수를 위해 연료전환만으로 감축목표를 달성해야 하는 구조이다. 비용은 탄소세가 아닌, 연료전환에 따른 운용비 증가로만 발생한다.

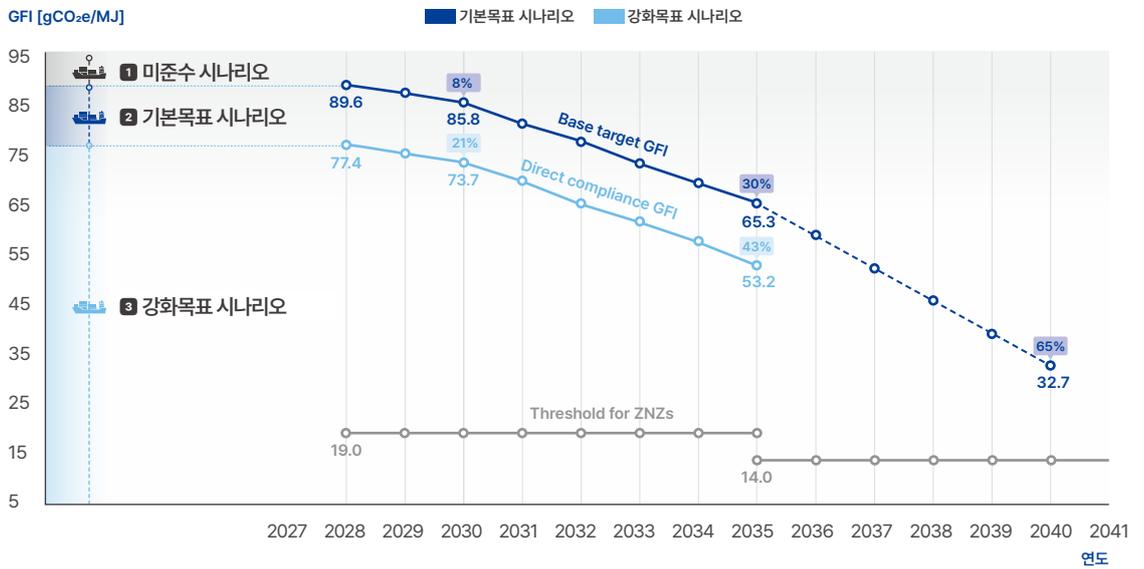
3. 결과

본 연구는 앞서 정의한 시나리오에 따라, 해운산업의 연료 전환경로, 탄소 배출량, 총 연료비의 변화를 정량적으로 비교하였다. 각 시나리오는 탈탄소화 전략의 차이에 따라 에너지 믹스 구성과 경제적 부담에 상호 영향을 미치며, 이를 통해 정책과 지원 비용 및 환경 효과의 차이를 분석할 수 있다.

연료에 따른 비용 분석 예시

IMO에서 채택한 넷제로 프레임워크에 따르면, 선박이 사용하는 연료의 온실 가스 배출 강도에 따라, 연료 1톤당 추가적으로 부담해야 할 부과금(RU, Remedial Unit)을 크게 세 가지 구간으로 나누어 산정된다. 이 구분은 아래 [그림 1]과 같이 표현하였으며, 각 구간은 다음과 같은 기준에 따라 정의된다.

[그림 1] 중기조치와 시나리오 구간 설정



이와 같은 구간 설정에 따라, RU 는 아래와 같은 수식으로 산출된다.

[그림 2] RU 산출 수식

$$RU = \frac{(GFI_{Base} - GFI_{Direct}) \times Tier1_{cost} \times \frac{LCV}{10^6}}{RU\ 1(T1)} + \frac{(GFI_{Fuel} - GFI_{Base}) \times Tier2_{cost} \times \frac{LCV}{10^6}}{RU\ 2(T2)}$$

RU 연료 1톤당 탄소 규제에 따른 추가 비용 (\$/ton-fuel)	Tier1_{cost} Tier1 구간의 탄소 가격 (예 \$100/tCO _{2eq})
GFI_{Base} 해당 연도의 Tier1 감축목표 (gCO _{2eq} /MJ)	Tier2_{cost} Tier2 구간의 탄소 가격 (예 \$380/tCO _{2eq})
GFI_{Direct} 해당 연도의 Tier2 감축목표 (gCO _{2eq} /MJ)	LCV 연료의 저위발열량 (MJ/ton-fuel)
GFI_{Fuel} 해당 연료의 온실가스 배출 집약도 (gCO _{2eq} /MJ)	

이와 같은 방식으로 연도별 감축 목표에 따른 HFO의 탄소세(RU)를 산정한 결과는 [표 2]와 같다.

[표 2] 연도별 HFO 대상 연료 비용 및 탄소세 적용에 따른 총비용 (소수점 이하 절삭)

연도	IMO GFI		탄소세		
	Tier1 Direct [gCO _{2eq} /MJ]	Tier2 Base [gCO _{2eq} /MJ]	RU 1 (T1) [\$]	RU 2 (T2) [\$]	총 탄소세 [\$]
2028	77	90	49	31	80
2029	76	88		60	109
2030	74	86		89	138
2031	70	82		152	201
2032	65	78		215	264
2033	61	74		278	327
2034	57	69		341	391
2035	53	65		405	454

* 기존 화석연료(HFO)는 가장 높은 GFI를 가지며, 고 탄소세 구간에 해당할 경우 비용 부담이 급격히 증가한다. [표 2]에서 확인할 수 있듯, 2035년 기준 총 탄소세의 비용은 \$454이며, 2025년 HFO 가격(\$475) 기준으로 이에 탄소세는 연료 비용의 약 95% 추가 비용으로 작용하게 된다.

A. 시나리오에 따른 연료구성

국제해운 부문의 연료 전환은 본질적으로 화석연료의 구조적 축소와 대체연료의 단계적 확대라는 두 축을 중심으로 진행된다. 본 분석은 이러한 흐름을 정량적으로 식별하기 위해 연료를 화석연료, 바이오연료, e-fuel 세 범주로 구분하고, 시나리오별 전환 경로와 구조적 특징을 비교하였다. 초기 조건인 2025년에는 모든 시나리오에서 동일한 연료 구성이 도출되며, 이는 연료비 최소화를 우선하는 모형 설정 하에 모든 연료의 사용 가능성을 열어둔 결과다. 감축 규제가 본격화되는 2028년부터는 시나리오별 규제 강도와 정책 방향성에 따라 연료 구성이 점차 분화되며, 감축 의무의 유무, 탄소 가격의 적용 수준, 정책 신호의 강도에 따라 전환 시점과 전환 연료의 유형도 명확히 달라지는 경향이 나타난다.

다만 본 연구는 선형계획법 기반의 비용 최적화 구조를 적용함에 따라, 특정 연료에 대한 과도한 집중이라는 구조적 한계가 존재하며, 연료 믹스 결과 역시 계산 모형의 산출물이라는 점에서 해석에 주의가 필요하다. 실제 산업 전환 과정에서는 정책 유연성, 연료 공급망의 현실성, 기술 도입 속도 등 다양한 비정형 요소들이 영향을 미치므로, 본 분석은 장기적 방향성과 정책 신호에 따른 상대적 전환 흐름을 파악하는 데 중점을 두고 있다.

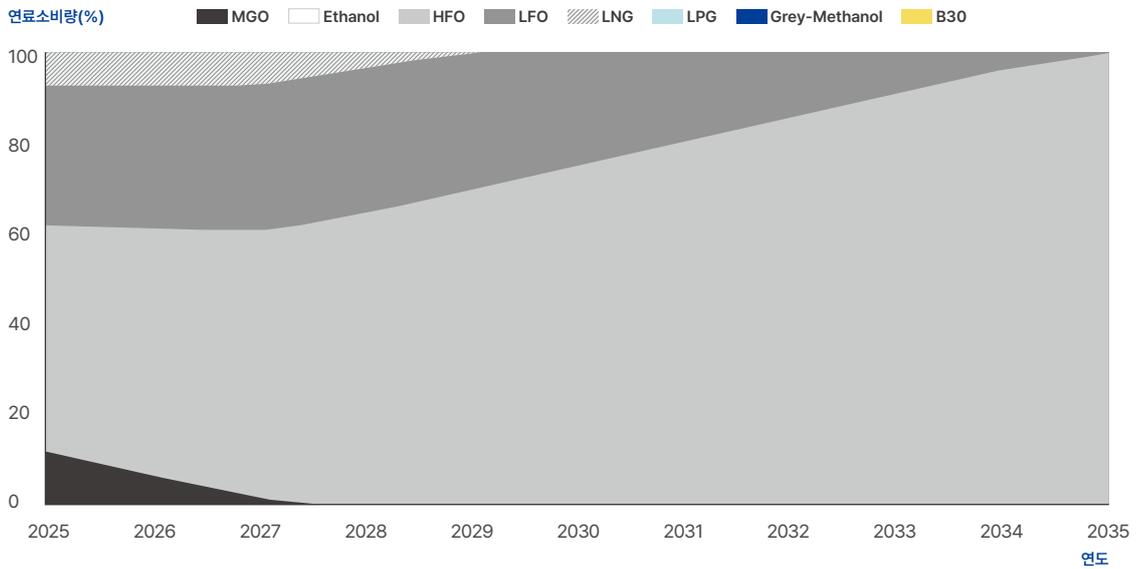
1 미준수 시나리오

미준수 시나리오는 탄소 감축 의무가 없고, 이에 따라 화석연료 중심의 연료 구조가 강하게 유지되어, 연료 구성의 변화가 가장 적은 결과이다. 해운 연료의 구성 변화는 비용 최소화를 중심으로 한 계산 모형에 기반하여 결정되며, 이로 인해 특정 연료의 과도한 집중 현상이 나타나는 구조적 한계를 가지고 있다. 본 시나리오에서는 2025년을 시작점으로 모든 연료에 대한 사용 가능성을 열어두고, 시계열에 따라 연도별 연료 비용이 최소화되는 방향으로 최적 연료 구성을 도출하였다.

이러한 계산 구조아래, 초기 시점에 가장 비용 효율적인 연료가 선택되며, 본 분석에서는 시간이 지날 수록 HFO 사용 비중이 증가하고, 2035년에는 전체 연료 구성의 100%를 차지하는 결과로 수렴한다. 화석연료가 전량 유지되고 대체연료가 도입되지 않는 이유는, 실제 산업 구조를 반영하기보다 비용 기반 최적화 논리에 따라 억제된 것으로 해석된다.

높은 수준의 탄소세(RU 1+RU 2)가 부과되지만, 이는 연료 전환을 통한 규제 대응으로 이어지기 보다 비용 항목으로 계산하여 세금 전가 비용으로 흡수되는 구조로 작동한다. 무탄소 연료는 단가가 높아 선택되지 않으며, 규제 유인이 충분하지 않을 경우 시장 선택은 화석연료로 회귀할 가능성이 높다는 점을 시사한다. 이는 비용 이외의 요소인 탄소세 도입과 온실가스 가격제도 등 정책 개입을 통해 대체 연료의 경쟁력을 인위적으로 보완하지 않는 한, 시장 메커니즘만으로 연료 전환을 실질적으로 유도하기 어렵다는 현실을 보여준다.

[그림 3] 미준수 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화



2 기본목표 시나리오

기본목표 시나리오는 IMO의 중기조치에 따라 점진적인 연료 전환을 추진하면서, \$100/tCO₂eq의 탄소세를 부과하는 정책 구조를 갖는다. 이 시나리오에서는 비용 신호와 배출 회피 유인이 함께 작동하면서, 연료 구성의 구조적 변화가 점진적으로 진행되었다.

미준수 시나리오와 동일하게, 2025년 시점에서 다양한 연료 선택 가능성을 열어두되, 이후 시계열을 따라 상대적 비용, 에너지 전환 속도 및 가능성 그리고 일정 수준의 정책적 제한을 포함한 현실 조건이 반영된 결과이다. 분석 결과, 전통적인 연료인 HFO와 LFO의 비중은 초기에는 여전히 지배적이거나, 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소하며 대체 연료로의 전환 흐름이 부분적으로 관측된다.

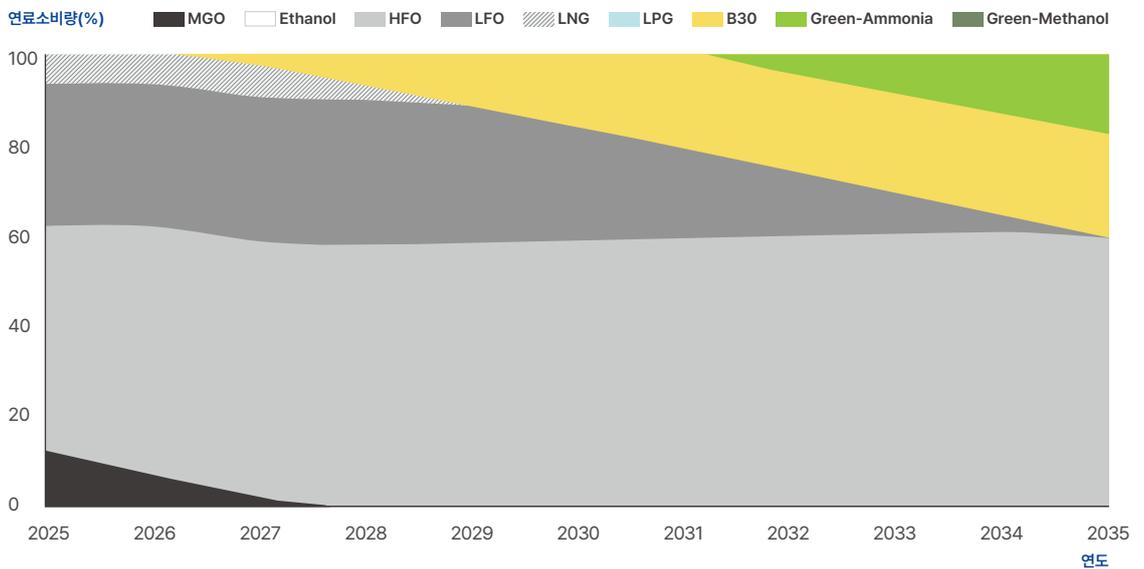
2025년 HFO와 LFO가 전체연료 사용량의 약 80% 이상을 차지하며, MGO(12.4%), LNG(6.8%)가 그 뒤를 이었다. 반면, 2027년부터는 드롭인(Drop-in)특성으로 인해 바이오연료(B30)의 사용 비중이 가시적으로 증가하기 시작하며, 2035년에는 전체 연료의 약 23%까지 확대되었다. e-fuel 계열 중에서도 특히 e-Ammonia(그린 암모니아)는 높은 비용에도 불구하고 정책적 감축 기준을 충족할 수 있는 대표적인 무탄소 연료로 자리를 잡아 2032년 이후 본격적으로 연료 구성에 포함되어 2035년에는 17.5% 수준까지 도달하였다.

기본목표 시나리오에서는 연료 유형 간 도입 시점, 성장 속도, 전략적 중요도에서 뚜렷한 구조 변화가 나타난다. HFO는 여전히 가장 저렴한 연료임에도 불구하고, 환경 규제와 같은 정책적 유인에 따라 연료 구성에서 차지하는 비중이 점차 감소하며, 이는 순수 비용 기준이 아닌 정책 규제 조건에 따라 연료 선택이 이루어지고 있음을 보여준다. 동시에, 바이오연료(B30)와 같은 대체연료는 시장 진입 가능성이 확인되었으며, 특히 별도의 설비 변경 없이 사용할 수 있는 드롭인(Drop-in) 연료는 상대적으로 전환 비용이

낮아 일정 수준의 확산 경로를 형성하였다. 다만, 전반적인 보급 속도는 제한적이며, 이는 기술 상용화 수준, 공급망 인프라의 미비, 연료 가격의 불확실성과 같은 복합적 제약 요인이 여전히 구조적 장벽으로 작동하고 있음을 시사한다.

본 시나리오는 정책적 유인과 연료 수급 안정성이 일정 수준 확보될 경우, 시장 내 점진적 연료 다변화와 탈탄소화 전환이 가능하다는 점을 보여준다. 그러나 여전히 HFO를 비롯한 화석연료의 점유율이 절반 이상을 차지하고 있으며, 시장 매커니즘만으로는 단기간 내 전면적인 연료 전환이 이뤄지기 어렵다는 구조적 한계도 함께 드러난다.

[그림 4] 기본목표 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화



3 강화목표 시나리오

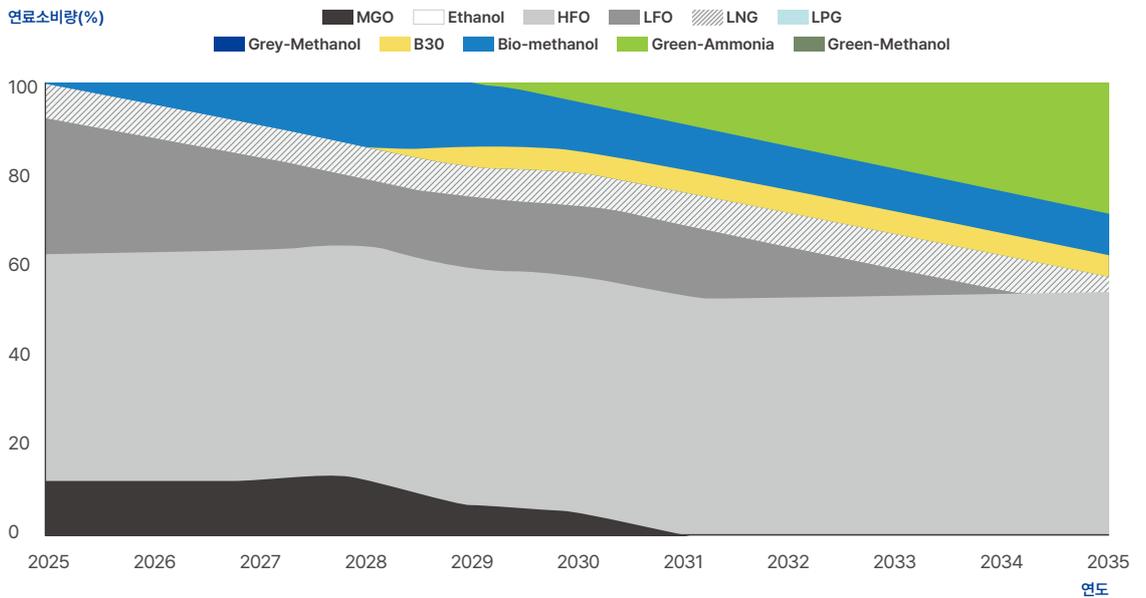
중기조치의 강화목표를 달성한 해당 시나리오는 탄소세와 같은 외부 가격 유인 조건 없이, 연료 전환만으로 온실가스 감축 목표를 직접 달성하는 구조이다. 특히, 연료의 전과정 배출량(Well-to-Wake)을 기준으로 탄소배출 강도를 엄격하게 관리하는 이 시나리오에서는, 감축 기준을 초과하는 연료는 실질적인 사용자체가 차단된다. 이러한 구조적 특성은 연료 선택에 있어 시장 논리보다 규제 준수 여부를 절대적으로 중요하게 작용함을 의미하며, 그 결과 세 가지 시나리오 중 연료 구성의 변화 폭이 가장 크게 나타난다.

가장 먼저 주목할 변화는 바이오메탄올의 조기진입과 점진적 확산이다. 2026년 4.5%로 출현한 이후 꾸준한 비중 상승으로 2035년에는 약 9.5%에 도달하였다. 이전 시나리오에서는 관측되지 않던 연료임을 감안할 때, 강화된 연료 규제에 의한 전환 압력이 작동한 사례라 할 수있다. 바이오메탄올은 높은 감축 효과를 제공함과 동시에 드롭인(Drop-in)이 가능하므로, 정책적 수요 대응력이 높아 도입된 것으로 추정된다. 특히 본 시나리오서 그린 암모니아 등 무탄소 연료의 도입이 가시화 되기 전, 중간 단계로 시장에서 빠르게 채택되는 양상을 보인다.

반면, 산업계의 기대와 다르게 LNG의 비중은 지속적인 상승세를 보이지 못하고 있다. 본 시나리오에서는 2035년 3.1% 수준에 머무르며, 타 시나리오 대비 점유율 감소 폭은 작으나 지속적 성장세는 확인되지 않는다. 강화된 규제 시나리오 내에서 LNG는 경제성과 규제 적합성 측면에서 상대적 경쟁력을 상실한 결과로 판단된다.

또, MGO는 타 시나리오 대비 비중이 급격히 감소하지 않고 2030년까지 일정 비중을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 조기 감축을 통해 전체 연료의 평균 집약도가 빠르게 낮아지면서, 일부 고탄소 연료의 제한적 활용이 허용될 수 있는 구조가 형성되었기 때문으로 해석된다. 강화목표 시나리오에서 MGO는 저탄소 연료와의 혼합 운용을 통해 규제 기준을 충족할 수 있는 선택지로 작동하였으며, 정책 유연성과 시스템 제약을 감안한 최적화 구조 내에서는 고탄소 연료의 제한적 활용이 가능함을 보여준다.

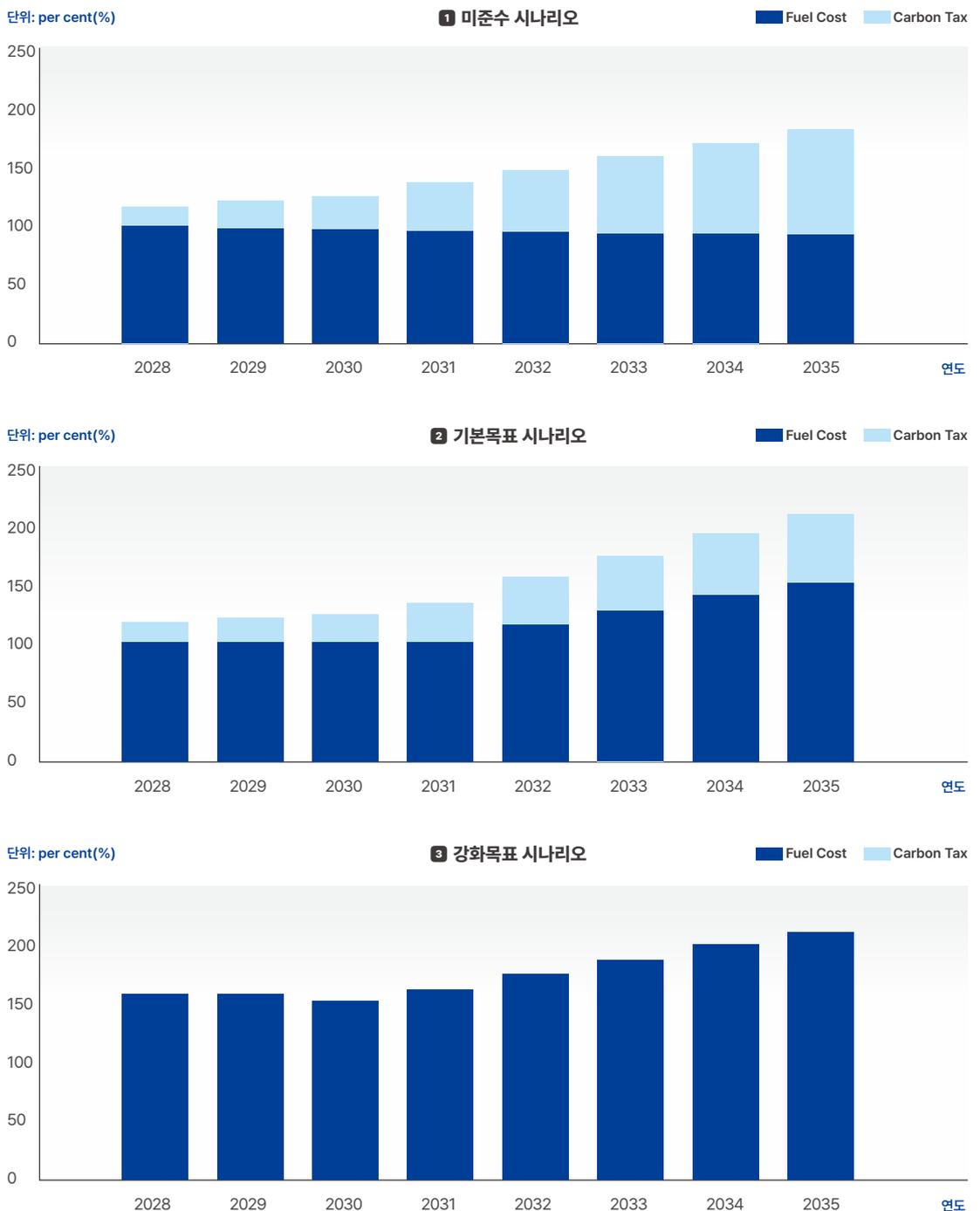
[그림 5] 강화목표 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화



B. 시나리오별 연료 비용 및 탄소 비용

본 절에서는 앞서 정의한 세 가지 시나리오를 바탕으로, 연도별 연료비 및 탄소세 구조의 변화를 비교·분석하였다. 각 시나리오마다 연료 구성 방식이 다르기 때문에, 이에 따라 연료비와 탄소세의 비중도 상이하게 나타난다. 본 분석은 이러한 비용 구조의 차이를 통해, 중기조치가 해운 산업에 미치는 유인 효과와 제도적 한계를 검토하고자 한다.

[그림 6] 탈탄소 시나리오에 따른 연료비+탄소세 변화 분석



* 모든 값은 2028년 미준수 시나리오의 연료비용을 100으로 설정한 상대값(%)이며, 연료비(Fuel Cost)와 탄소세(Carbon Tax)의 연도별 변화 추이를 시각적으로 비교하기 위한 것이다.

[그림 6]은 시나리오별 연료비 및 탄소세의 연도별 변화를 보여준다. 결과에 따르면, 미준수 시나리오는 전통 화석연료를 중심으로 운항이 지속되므로, 초기 연료비는 가장 낮게 유지된다. 하지만 시간이 지날수록 중기조치에 의해 탄소세가 계속 쌓이며, 결국 총비용은 빠르게 증가하는 양상을 보인다. 이는 단기적으로는 비용이 경제적이나, 중장기적으로는 탄소세 부담 누적이 구조적으로 비용 효율성을 저해하는 결과로 이어진다.

기본목표 시나리오는 연료 구성에 LNG·바이오연료 등 저탄소 연료가 일부 반영되며, 이에 따라 연료비는 미준수 시나리오 대비 전구간 높게 유지된다. 탄소세는 \$100/tCO₂eq로 설정되어 미준수 시나리오 대비 낮은 수준이지만, 연료비 상승분과 상쇄되지 않아 총비용은 미준수 시나리오와 강화목표 시나리오의 중간 수준에서 형성된다. 이는 일정 수준의 연료전환 비용을 감수하면서도, 탄소세 부담을 낮추는 방식으로, 정책 이행과 비용 부담 사이에서 균형을 추구하는 구조이며, IMO 중기조치를 최소 수준에서 수용하는 경로를 보여준다.

강화목표 시나리오는 높은 수준의 감축목표 충족을 위한 조기 연료전환이 이루어지며, 적극적인 무탄소 연료 도입으로 연료비는 가장 높은 수준을 기록한다. 동시에 탄소세는 부과되지 않으므로, 2030년 이후 탄소세 부담이 급증하는 다른 시나리오 대비 상대적으로 연간 비용 증가율이 안정적이다. 이러한 특성은 장기적인 지출 계획 수립과 투자 안정성 측면에서 긍정적인 요인으로 작용할 수 있으며, 감축 전략의 예측 가능성과 정책 신뢰도 확보 측면에서도 중요한 함의를 갖는다.

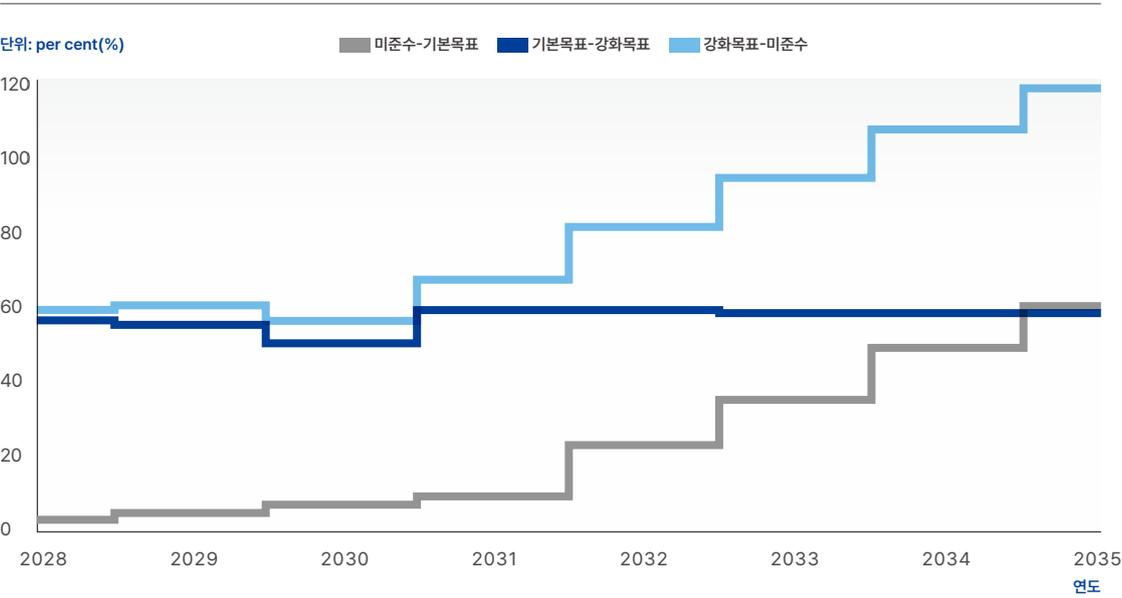
다만, 모델링 결과에 따르면, 2035년까지의 IMO 중기조치 구조 하에서는 가장 충실히 감축을 이행하는 강화목표 시나리오가 오히려 총비용 측면에서 가장 높은 부담을 지는 결과가 도출된다. 이는 제도를 성실히 이행하는 주체가 단기적으로 경제적 불이익을 감수해야 하는 역진적 구조로 이어질 수 있음을 시사하며, 중기조치의 유인 효과가 산업에서 기대만큼 작동하지 않을 가능성을 보여준다.

그럼에도 불구하고, 탄소세를 포함한 중기조치는 국제해운의 2050 탄소중립 달성을 위한 초기 정책 수단으로서의 방향성을 갖는다. 향후 초과유닛(su) 기준 설정이나 GFI 감축계수 강화 등을 통해, 선박의 감축 행동에 대한 보상 구조가 강화될 경우 중기조치의 효과는 보완될 수 있다. 따라서 본 분석은 단기적 경제성의 한계를 지적함과 동시에, 전환 경로 상에서 중기조치가 유도할 수 있는 다양한 선택지를 병행하여 고려할 필요가 있음을 제안한다.

C. 시나리오간 상대적 비용 분석

앞서 살펴본 비용 분석 결과는 중기조치가 해운 연료비와 총비용 구조에 어떤 변화를 유도하는지 시간 흐름에 따라 비교할 수 있는 근거를 제공한다. 분석에 따르면, 미준수 시나리오는 총비용이 가장 낮게 유지되지만, 시간이 지날수록 증가 폭이 크게 확대된다. 반면 강화목표 시나리오는 초기 비용 부담이 크지만, 지출 변화 폭이 작고 흐름이 안정적이다. 기본목표 시나리오는 이 둘 사이에서 전환 비용을 분산시키는 완충 경로로 작동하며, 점진적 대응 전략으로 해석된다. 이러한 결과는 향후 중기조치가 단계적으로 강화될 것을 고려할 때, 어떤 전략이 국제해운의 탄소중립 이행에 실질적으로 기여할 수 있는지에 대한 시사점을 도출하는 출발점이 된다.

[그림 7] 시나리오 간 연료비 상대 격차 추이

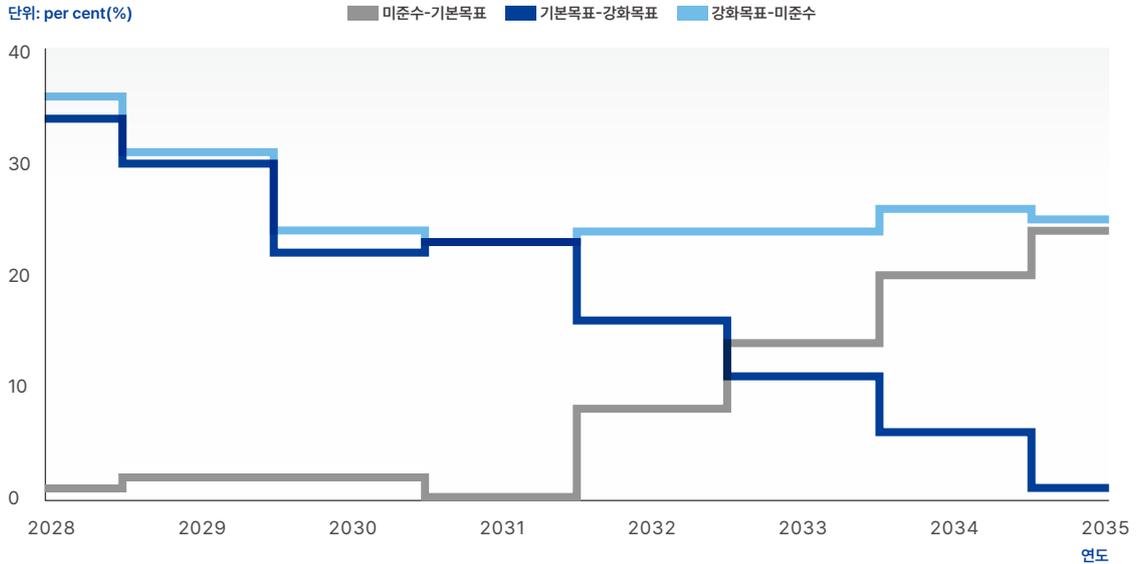


[그림 7]은 연료비의 시나리오별 상대적 변화를 백분율(%)로 표현한 그래프로, 정책 선택에 따른 연료비의 시계열적 차이를 직관적으로 비교하기 위해 작성되었다. 특히, 본 그래프는 절대적 수치보다 상대적 추이를 분석하는데 목적을 두고 있으며, 이에 따라 2028년 연료비를 기준으로 각 시나리오 간 변화를 환산하였다. 데이터를 살펴보면, 세 가지 시나리오 간 비용 차이는 시간에 따라 뚜렷한 경향성을 보인다.

먼저 미준수 시나리오와 기본목표 시나리오 간 연료비 차이는 2028년 3% 수준으로 시작하지만, 이후 2035년까지 지속적으로 증가하여 최종적으로 60%까지 확대된다. 이러한 결과는, 미준수 시나리오를 유지할 경우, 연료비 부담이 매년 가파르게 증가하여 기본목표 시나리오로의 전환 비용이 점점 더 커짐을 시사한다. 기본목표 시나리오와 강화목표 시나리오 간의 연료비 격차는 전 기간 동안 약 60% 수준에서 일정하게 유지된다. 이는 강화목표 시나리오로의 전환이 초기에는 일정 비용을 수반하지만, 시계열 상 추가적인 연료비 부담이 크지 않음을 의미하며, 비용 안정성 측면에서 유리함을 의미한다. 가장 큰 격차는 강화목표 시나리오와 미준수 시나리오 간에서 나타나며, 2028년 약 60% 수준에서 시작해 2035년에는

120%에 도달한다. 이는 미준수 시나리오를 고수할 경우, 강화목표 시나리오와의 총 연료비 격차가 기하급수적으로 확대될 수 있음을 시사한다.

[그림 8] 시나리오 간 총비용(연료비+탄소세) 상대 격차 추이



연료비 차이에 더해, 탄소세를 포함한 총비용 관점에서도 시나리오간 격차는 더욱 두드러진다. [그림 8]은 연료비에 중기조치의 탄소세(RU)를 반영한 경우로써 상대적 비용 변화를 살펴보기 위하여 위와 동일하게 2028년 총비용을 기준값으로 설정하였다.

우선 미준수 시나리오에서 기본목표 시나리오로의 전환은 2028년 초기 비용 차이가 불과 1%로 사실상 동일한 수준에서 시작한다. 그러나 이후 중기조치로 인해 탄소세 부담이 본격화되면서 총비용이 가파르게 증가해, 2035년에는 양 시나리오 간 격차가 24%까지 벌어진다. 이는 연료비 단독 분석보다 더 가파른 증가세를 보인다. 반면 기본목표 시나리오에서 강화목표 시나리오로의 전환은 초기에 높은 수준 34%에서 출발하지만 시간이 지날 수록 점진적으로 감소하여 2035년에는 음의 값으로 향하는 움직임을 보인다. 이는 강화목표 시나리오로의 초기 전환 비용은 높으나 시간이 흐를 수록 탄소세 절감 효과가 누적되어 총비용이 오히려 기본목표 시나리오 보다 낮아질 수 있음을 의미한다. 기본목표 시나리오가 단순한 중간 단계가 아니라, 전략적으로 강화목표 시나리오로의 전환 비용을 분산시키고 점진적으로 흡수할 수 있는 전략으로 기능함을 의미한다.

마지막으로 강화목표 시나리오와 미준수 시나리오 간 총비용 격차는 2028년 약 36%에서 2035년에는 약 25%까지 하락한다. 이는 초기에는 강화목표 시나리오의 연료비가 상대적으로 높아 총비용 격차가 크게 나타나지만, 시간이 지남에 따라 미준수 시나리오의 화석연료 사용으로 인한 탄소세 증가로 총비용이 점진적으로 상승하여 두 시나리오 간 초기 비용 격차가 빠르게 상쇄되는 것으로 해석된다.

종합하여, 현재의 비용만을 고려해 미준수 시나리오를 선택하는 것은 단기적으로 유리해 보일 수 있으나, 장기적으로는 누적되는 탄소세와 연료 전환 비용에 의해 정책 대응 유연성 저하를 초래한다. 특히 전체 비용 구조를 살펴보면, 미준수 시나리오 유지가 2035년에 가까워질수록 가장 불리한 선택이 될 가능성이 높다. 반면 기본목표 시나리오를 시작점으로 삼고 강화목표 시나리오로 점진적으로 전환하는 전략은 초기 부담을 분산하면서도 총비용의 예측 가능성과 전환 안정성을 확보할 수 있다. 따라서 그래프 보여주는 수치는 단순한 총비용 비교를 넘어, 탈탄소 전환 시점과 단계를 판단할 수 있는 정량적 근거로 기능하며, 결국 전환이 불가피한 미래라면 조기 대응하는 것이 가장 합리적인 선택임을 시사한다.

4. 결론 및 시사점

본 연구는 IMO의 중기조치가 유도하는 전환 경로와 비용 구조를 통해 제도의 실효성과 구조적 한계를 동시에 보여준다. 특히 현재 중기조치 아래에서는, 가장 충실히 감축을 이행하는 강화목표 시나리오가 오히려 가장 큰 비용 부담을 지는 결과가 나타나, 제도를 이행할수록 단기적으로 불이익을 감수해야 하는 역진적 구조의 위험성이 확인된다. 다만, 본 분석은 초과유닛(SU) 거래 가능성 등 중기조치의 보상 체계는 고려하지 않았으며, 제도의 불확실성이 해소되지 않은 상태에서 비용 구조를 보수적으로 평가하였다. 그 결과, 현재 중기조치에서 승인된 연료의 온실가스 배출 집약도(GFI) 기준에 따른 부과금 체계만으로는 구조적인 연료 전환을 충분히 유도하기 어렵다는 한계가 드러났다.

그럼에도 중기조치는 국제해운의 2050 탄소중립 달성을 위한 출발점으로서의 정책적 의미를 지닌다. 향후 SU 기준 정비, 2040년까지의 기본목표 및 강화목표에 대한 GFI 감축목표 상향 설정, 감축 이행에 대한 보상 체계 마련 등 제도적 개선이 병행된다면, 중기조치의 실효성은 충분히 보완될 수 있다. 특히, SU 가격 체계와 감축 인센티브 제도가 어떻게 구체화되느냐에 따라 조기 전환 유인이 크게 달라진다. 중기조치가 효과적인 전환 정책으로 작동할 수 있을지는 정책 설계의 명확성과 실행력에 달려있으며, 이는 시장에 명확한 보상 신호와 전환 유인을 제공해야 한다.

또한, 국가 차원의 정책 조합도 함께 요구된다. 연료비 격차가 전환의 주요 장애 요인으로 작용하고 있는 만큼, 무탄소·저탄소 연료의 생산 인프라를 조기 확충하고, 주요 항만을 중심으로 공급·보급망을 구축하기 위한 구체적인 지원 정책이 필요하다. 해운사의 조기 전환 비용을 완화하기 위하여 비화석연료 선박 건조 시 지원금 뿐만 아니라 e-fuel 등 무탄소 연료를 사용하는 선박에 대하여 연료비 차액 보조, 세제 혜택, 녹색금융과의 연계 등이 고민되어야 한다.

국제해운 2050 탄소중립 실현을 목표로 하는 우리 정부는 중기조치의 후속 협상 과정에서 강화목표의 실질적 이행을 뒷받침할 수 있도록 제도 정비를 선도적으로 주도해야 한다. 특히 SU 제도는 단순한 규제 장치를 넘어, 글로벌 해운사들이 실질적인 온실가스 감축을 선택하도록 유인하는 예측 가능하고 신뢰성 있는 시장 메커니즘으로 기능해야 하며, 이를 위해서는 정책적·경제적 역량이 집중되어야 한다. SU 가격 체계와 거래 조건이 명확히 설정될 경우, 강화목표의 조기 이행은 산업계에도 실질적인 이익으로 연결되기 때문에, 국내 해운사들이 점진적 탈탄소 전환을 준비하는 데 있어 구체적이고 실행 가능한 로드맵 수립을 가능하게 할 것이다.

마지막으로, 중기조치는 전 세계 해운사에 연료 전환을 강제하는 구조적 부담을 수반하지만, 장기적으로는 탈탄소화를 향한 흐름 속에서 매우 중요한 전환 지점이 된다. 중기조치는 연료의 온실가스 배출 기준과 탄소 가격 체계를 최초로 설정한 국제 규제로서, 해운산업이 어떤 연료를, 언제, 어떻게 사용해야 하는지를 고민할 수 있게 하는 가이드라인을 제시한다. 이는 산업 전반에 연료 선택에 대한 전략적 기준을 제공할 뿐 아니라, 공동 대응을 통해 대체연료 시장의 조기 형성과 투자 선점의 기회를 제공할 수 있다.

지금은 국제해운의 탈탄소 전환을 위한 결정적 시점이다. LNG나 바이오연료와 같은 과도기적 연료에 대한 의존은 현재 중기조치 하에서도 단기적으로 사용하겠으나, 장기적으로는 연료비 격차와 정책 규제가 더욱 강화될 전망이다. 결국 화석연료에 대한 과도한 의존은 이후 중기조치 대응을 위한 저탄소·무탄소 연료 전환 부담만을 가중시킬 것이다. 기본목표 시나리오를 현실적인 출발점으로 삼고, 점진적으로 강화목표를 이행해 나가는 단계적 전략은 경제성과 유연성 모두를 고려한 합리적인 대응 경로로 평가된다. 중기조치는 이러한 전환 경로를 제시하는 첫 번째 체계이며, 지금 이행하느냐, 아니면 더 큰 비용과 제약을 감수하며 따라가느냐는 해운사의 전략과 이를 뒷받침할 정책 당국의 결단에 달려있다.

부록: 시나리오별 연간 선박 연료 소비 비중의 변화 도표

미준수 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화

단위: %

항목	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
MGO	12.41	7.05	1.52								
Ethanol	0.00										
HFO	49.56	54.61	59.71	64.87	70.10	75.38	80.58	85.81	91.07	96.37	100.00
LFO	31.09	31.43	31.78	32.13	29.90	24.62	19.42	14.19	8.93	3.63	
LNG	6.84	6.92	6.99	3.00							
LPG	0.02										
Grey-Methanol	0.00										
B30	0.08										

* 14P [그림 3] Graph Data

기본목표 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화

단위: %

항목	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
MGO	12.41	6.97	1.44								
Ethanol	0.00										
HFO	49.56	54.61	57.04	57.67	58.32	58.99	59.37	59.75	60.13	60.52	59.12
LFO	31.09	31.43	31.78	32.13	29.82	24.53	19.33	14.10	8.84	3.54	
LNG	6.84	6.92	6.99	2.91							
LPG	0.02										
B30	0.08	0.08	2.75	7.29	11.86	16.48	21.30	21.44	22.12	22.26	23.39
Green-Ammonia								4.71	8.90	13.67	17.49
Green-Methanol	0.00										

* 15P [그림 4] Graph Data

강화목표 시나리오- 연간 선박 연료 소비 비중의 변화

단위: %

항목	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
MGO	12.41	12.54	12.68	12.82	7.38	5.42	0.53				
Ethanol	0.00										
HFO	49.56	50.10	50.65	51.21	51.79	52.38	52.71	53.05	53.39	53.74	54.09
LFO	31.09	25.83	20.51	15.13	15.30	15.47	15.57	10.85	6.00	0.68	
LNG	6.84	6.92	6.99	7.07	7.15	7.23	7.28	7.32	7.37	7.42	3.11
LPG	0.02	0.02	0.02	0.02	0.20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.20	0.02
Grey-Methanol	0.00										
B30	0.08	0.08	0.08	0.09	4.58	4.63	4.66	4.69	4.72	4.75	4.78
Bio-Methanol		4.51	9.06	13.01	13.16	10.36	10.00	10.06	9.70	9.76	9.51
Green-Ammonia						4.49	9.23	14.00	18.80	23.63	28.49
Green-Methanol				0.65	0.62						

* 16P [그림 5] Graph Data

참고문헌

- ▶ Argus, Biomethanol-methanol diff widens, UK demand ticks up (2025)
- ▶ Clarksons Research Data, 2010년~2024년 신규 건조량 범위 DWT 기준 (최종 접속일 2025년 3월 24일)
- ▶ European Commission, FuelEU Maritime Initiative (2023)
- ▶ IMO MEPC 83, Cost-effective pathways to reach net zero by 2050 for the international shipping sector: fuel transition outlook and policy implications
- ▶ IMO MEPC 83, Report of the nineteenth meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 19) and the Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships
- ▶ IMO, Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (2021)
- ▶ IMO, Report of the nineteenth meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (ISWG-GHG 19) and the Working Group on Reduction of GHG Emissions from Ships (2025)
- ▶ Methanol Institute, Economic value of methanol for shipping under fuelEU maritime and EU ETS (2024)
- ▶ 기후솔루션(SFOC), 해운 중간 대체 연료의 환경 리스크와 한중일 연료 활용 계획 (2024)
- ▶ 한국선급(KR), 선박 연료로서 바이오연료의 현황과 전망 (2024)



기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다.
리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고,
근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.