

MARITIME  
FOCUS

## IMO 중기조치에 따른 연료 전환의 전략과 비용

시나리오별 연료 구성 및 총비용 비교를 중심으로



한유민 연구원  
기후솔루션(SFOC)



지혜련 책임연구원  
플랜잇(PLANiT)

### (1) 서론

2025년, 국제해사기구(IMO)는 제83차 MEPC에서 해운부문 온실가스 감축을 위한 중기조치, 이른바 'IMO 넷제로 프레임워크(IMO Net-zero Framework)'를 승인했다. 이는 단순히 새로운 제도를 하나 추가한 것이 아니다. 기존 '에너지 효율 중심'의 규제 패러다임이 '온실가스 배출 총량 감축'과 '가격 부과'를 핵심으로 한 새로운 규율체계로 전환되었음을 의미한다. 해운은 더 이상 에너지 효율을 개선하는 것으로 책임을 다할 수 없는 산업이 되었다.

이번 조치의 핵심은 선박연료의 온실가스 집약도(GHG Fuel Intensity, GFI)를 기준으로 연료의 온실가스 배출 강도를 평가하고, 이를 초과하는 배출량에 탄소세를 차등 부과하는 가격 기반 규제체계가 도입되었다는 것이다. 설정된 GFI의 일정 기준을 초과할 경우, 이중 가격체계를 통해 Tier 1 미준수 구간에는 \$100/tCO<sub>2eq</sub>, Tier 2 미준수 시에는 추가로 \$380/tCO<sub>2eq</sub>의 높은 수준의 부과금을 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.

그러나 제도가 실질적인 전환을 유도할 수 있을지는 아직 확인되지 않았다. GFI 목표치가 시장 내 유효한 가격 시그널로 작동할 수 있는가? 각 시나리오 간의 비용 차이는 연료 전환을 유의미하게 유도할 만큼 충분한가? 본 질문은 중기조치의 실효성을 판단하는 핵심 변수다.

본 기고문은 중기조치 하에서 실제 어떤 연료 전환경로가 산업 내에서 발생할 수 있는지를 분석한다. ①규제 미준수, ②기본목표 대응, ③강화목표 대응이라는 3가지 시나리오를 바탕으로 연료 전환 추가 비용과 탄소가격 부과에 따른 해운선사 운영 비용의 변화를 검토하였다.

본 기고문은 "어떤 연료가 좋은가"라는 기술적 판단을 내리지 않는다. 대신, 중기조치가 유의미한 전환경로를 유도할 수 있는지를 살펴보고, 시장 선택이 아닌 정책 개입이 어디까지 필요한지, 산업의 대응전략은 어떤 균형점을 찾아야 하는지에 대한 판단 근거를 제시하고자 한다.

## (2) 연구 방법론 및 가정

IMO의 중기조치는 단순한 효율 기준이나 배출권 거래제를 넘어, 연료 전환을 비용 중심의 규율로 전환한 제도적 변화다. 이에 따라, 감축 전략 수립을 위한 비용 기반의 정량 분석 도구가 요구된다. 본 분석은 선형계획법 기반의 최적화 모형을 적용해, 선박 운항 과정에서 발생하는 온실가스 배출과 연료 전환 비용이라는 이중 제약 조건 하에서, 가장 비용 효율적인 연료 조합을 도출하고자 하였다. 중기조치가 연료의 전과정 온실가스 배출량(Well-to-Wake)을 기준으로 감축을 유도하는 제도라는 구조적 변화 속에서, 본 모델은 연료 비용(OPEX)의 변동성과 전환 속도 제한, 그리고 연료별 배출계수와 중기조치상의 감축목표를 반영하여 제도 이행 경로에 따른 실질적 비용구조와 전환 전략을 비교할 수 있도록 설계되었다.

본 분석에서 사용된 기초 데이터는 IMO의 글로벌 통합 선박정보시스템(GISIS) 데이터베이스를 기반으로 하며, 2019~2021년 보고된 5,000 GT 이상 선박 15,387척의 연료 데이터를 포함한다. 이는 전체 선박 총톤수의 약 93%에 해당한다. 연료 단가는 2025년 거래된 시장 가격 및 연구기관의 시나리오를 기반으로 하였고, 온실가스 집약도는 FuelEU Maritime 기준치를 사용하였으며, 비용 및 온실가스 집약도는 변화 없이 고정값으로 설정되었다.

연료는 사용 기술, 온실가스 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.

이때, 바이오연료는 드롭인(Drop-in) 연료로서 인프라 활용 측면에서 유리하지만, 공급 가능성과 환경 지속성 측면에서 구조적 제약이 존재한다. 바이오연료는 항공 분야에서 SAF(Sustainable Aviation Fuel)로 분류되어 전략적 자원으로 우선순위가 높아 경쟁이 치열할 것으로 전망되며, 비(非)식량 원료로부터 생성된 지속가능한 바이오연료의 실제 공급 여건은 매우 제한적으로 가격의 변동성도 크기 때문에 본 연구는 보수적인 가격 가정을 적용하였다. 그 이유는, 바이오매스 원료의 확보 과정에서 농업 및 산림 자원을 사용하는 경우, 식량 토지 이용과 생태계 보전에 대한 잠재적 충돌이 불가피하게 발생하기 때문이다. 생산 방식에 따라 배출계수가 크게 달라지는 구조적 특성은 탄소 감축 효과에 대한 정책적 신뢰성을 약화하는 요소이므로 현재 가장 구체화된 계수를 제공하고 있는 FuelEU Maritime의 LCA 계수를 기반으로 탄소 배출량을 산정하였다.

본 분석에서는 연간 연료 전환 속도를 최대 10%로 제한하였다. 이는 조선소의 건조 능력, 항만 인프라의 수용 여건, 연료 공급망의 확장성 등 현실적인 전환 속도의 물리적 한계를 반영한 설정이다. 또한, 운송 수요는 모든 시나리오에서 동일하게 유지하였다. 수요 변동이 연료 선택에 영향을 미치지 않도록 통제함으로써, 중기조치가 연료 선택 변화에 미치는 효과를 독립적으로 식별할 수 있도록 하였다.

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/tCO<sub>2eq</sub>)를 납부하거나, 다른 선박으로부터 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 2035년까지 감축률이 설정되어 있어, 연구 범위 역시 해당 기간으로 한정하였다.

### (3) 시나리오 구성 및 정의

중기조치에 따르면 선박이 사용하는 연료의 온실가스 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 연료 전환 수준에 따라 구분되며, 탈탄소 전략의 선택에 따라 해운산업이 부담하게 될 비용구조를 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

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/tCO<sub>2eq</sub>(RU 1)와 높은 수준인 \$380/tCO<sub>2eq</sub>(RU 2)가 일괄 적용된다. 이 시나리오는 정책 미준수 하에서 시장 주도형 탈탄소화 가능성과 비용구조의 변화를 판단하는 기준선 역할을 수행한다.

표 1 연도별 HFO의 GFI와 중기조치 적용에 따른 총 탄소세(소수점 이하 절삭)

	IMO GFI		탄소세		
	Tier1 Direct [gCO <sub>2eq</sub> /MJ]	Tier2 Base [gCO <sub>2eq</sub> /MJ]	RU1(T1) [\$]	RU2(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 1]에서 확인할 수 있듯, 2035년 기준 총 탄소세는 \$454이며, 2025년 HFO 가격(\$475) 기준으로 탄소세는 연료 비용의 약 95% 추가 비용으로 작용하게 된다.

#### ② 기본목표(Base Target) 시나리오

중기조치의 기본목표 감축경로 준수를 기반으로 하여, 점진적인 연료 전환과 중간 수준의 탄소세(RU1)를 병행하는 절충형 시나리오이다. 탄소 가격은 \$100/tCO<sub>2eq</sub>로 설정되며, 연료 전환에 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(Direct Compliance Target) 시나리오

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

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

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

그림 1 RU 산출 수식

## (4) 결 과

### A. 시나리오별 연료 구성

시나리오별 연료 구성 변화는 감축 의무의 유무, 탄소 가격의 적용 수준, 정책 신호의 강도에 따라 명확히 상이한 양상을 보인다. 세 시나리오 모두에서 단기적으로는 화석연료 의존도가 유지되나, 중장기적으로는 규제 강도에 따라 전환 시점과 전환 연료의 유형이 달라진다.

다만, 본 연구의 연료 구성 결과는 비용 최소화를 기준으로 작동하는 최적화 모형에 기반하고 있어, 특정 연료에 대한 과도한 집중이 나타날 수 있다는 구조적 한계를 갖는다. 2025년을 시작점으로 모든 연료에 대한 사용 가능성을 열어두고, 매 연도 최저 비용을 충족하는 조합을 도출한 결과이므로, 연료 믹스는 실제 시장 현실과 차이가 있을 수 있어 해석에 유의가 필요하다.

### ① 미준수 시나리오

탄소 감축 의무가 없고, 시장 자율에 기반한 미준수 시나리오에서는 2035년까지 HFO, MGO 등 화석연료가 전량 유지된다. 대체연료는 도입되지 않으며, 연료 구성의 변화는 비용 최소화 논리에 따라 억제된다. 높은 수준의 탄소세(RU 1+RU 2)가 부과되지만, 이는 연료 전환을 통한 규제 대응으로 이어지기보다 비용 항목으로 계산하여 운임 전가 비용으로 흡수되는 구조로 작동한다. 무탄소 연료는 단가가 높아 선택되지 않으며, 규제 유인이 충분하지 않을 경우 시장 선택은 화석연료로 회귀할 가능성이 높다는 점을 시사한다.

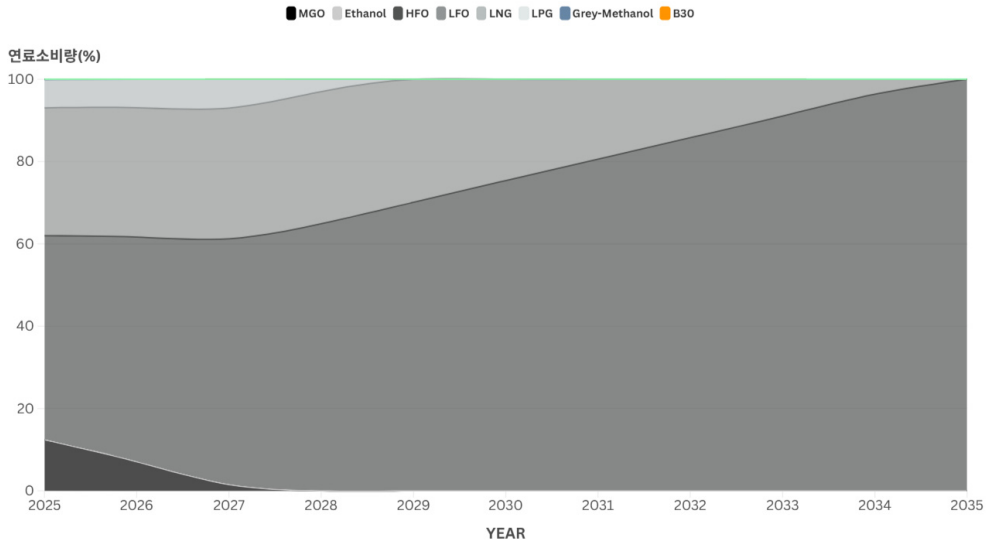


그림 2 미준수 시나리오- 연간 선박연료 소비 비중의 변화

② 기본목표(Base Target) 시나리오

중기조치의 기본목표를 따르는 시나리오에서는, 비용 신호와 배출 회피 유인이 동시에 작동하며 연료 구성이 점진적으로 변화하는 양상이 나타난다. 초기에는 화석연료인 HFO와 LFO의 비중이 여전히 지배적이거나, 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소하며 대체연료로의 전환이 부분적으로 관측된다. 2030년 전후부터 대체연료의 사용 비중이 가시적으로 증가하기 시작하며, e-연료 계열 중에서도 특히 e-암모니아(그린암모니아)는 높은 비용에도 불구하고 정책적 감축 기준을 충족할 수 있는 대표적인 무탄소 연료로 자리 잡아 2032년 이후 본격적으로 연료 구성에 포함되며, 2035년에는 전체 연료의 약 17.5%를 차지한다. 이는 중기조치의 규제가 연료 선택에 실질적으로 작용하고 있음을 보여준다.

기본목표 시나리오는 정책 유인과 연료 공급 여건이 일정 수준 확보될 경우, 시장 내 점진적인 연료 다변화와 탈탄소 전환이 가능하다는 가능성을 시사한다. 그러나 화석연료의 비중이 여전히 절반 이상을 차지하고 있으며, 시장 메커니즘만으로는 단기간 내 구조적 전환을 이루기 어렵다는 한계도 함께 드러난다.

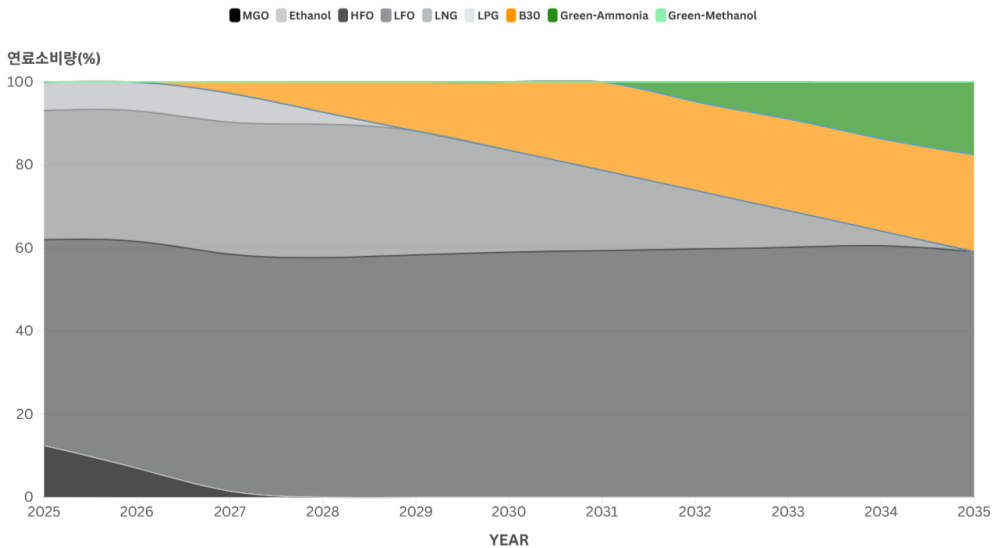


그림 3 기본목표 시나리오- 연간 선박연료 소비 비중의 변화

### ③ 강화목표(Direct Compliance Target) 시나리오

중기조치의 강화목표를 달성한 해당 시나리오는 연료의 전과정 배출량을 기준으로 온실가스 집약도를 엄격하게 관리하기에 감축 기준을 초과하는 연료는 사실상 사용이 제한되는 구조다. 이로 인해 연료 선택에 있어 시장 논리보다 규제 준수 여부가 핵심 기준으로 작용하며, 세 가지 시나리오 중 연료 구성의 변화 폭이 가장 크게 나타난다.

이전 시나리오에서는 없었던 바이오메탄올의 조기 도입과 점진적 확산은 규제에 의해 실질적인 수요가 유도된 사례로 해석된다. 바이오메탄올은 감축 효과와 드롭인 가능성을 동시에 갖추고 있어, 무탄소 연료가 본격화되기 전까지 전환의 과도기적 수단으로 작동한다. 반면, LNG는 2035년 기준 3.1%에 그치며, 점진적 확장세도 확인되지 않는다. 이는 경제성과 감축 적합성 측면 모두에서 LNG가 상대적 경쟁력을 상실한 결과로 평가된다.

또한, MGO가 고탄소 연료임에도 불구하고 2030년까지 일정 비중을 유지한다. 이는 조기 감축을 통해 전체 연료의 평균 집약도가 빠르게 낮아지면서, 일부 고탄소 연료의 제한적 활용이 허용될 수 있는 구조가 형성되었기 때문으로 해석된다. MGO는 저탄소 연료와의 혼합 운용을 통해 규제 기준을 충족할 수 있는 선택지로 작동하였으며, 정책 유연성과 시스템 제약을 감안한 최적화 구조 내에서는 제한적 활용이 가능함을 보여준다.

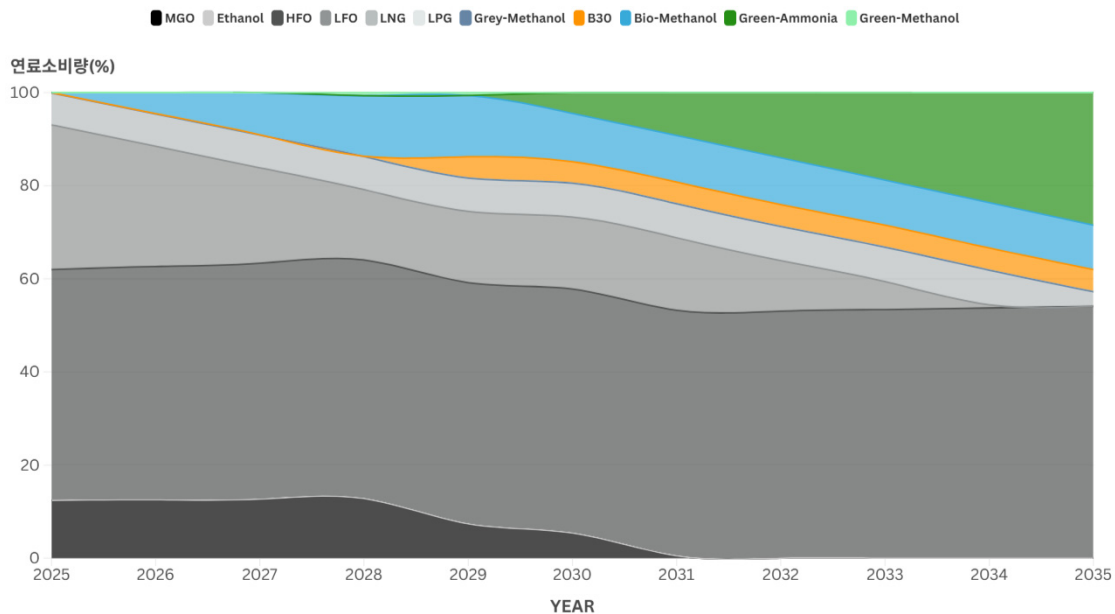


그림 4 강화목표 시나리오- 연간 선박연료 소비 비중의 변화

### B. 시나리오별 연료 비용 및 탄소 비용

본 절에서는 앞서 정의한 세 가지 시나리오를 바탕으로, 연도별 연료비 및 탄소세 구조의 변화를 비교·분석하였다. 각 시나리오별 연료 구성의 차이는 비용구조 전반에 영향을 미치기 때문에 시나리오별 연료비와 탄소세의 상대적 비중이 상이하게 나타난다. 분석의 목적은 이러한 비용구조 차이를 통해 중기조치가 해운산업에 미치는 유인 효과와 제도적 한계를 검토하는 데 있다.

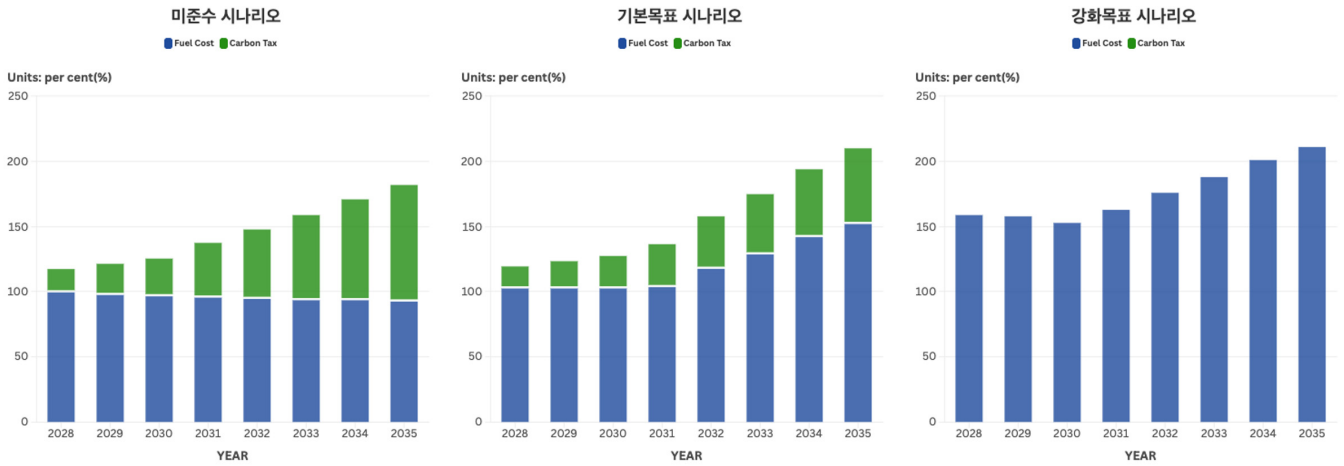


그림 5 탈탄소 시나리오에 따른 연료비+탄소세 변화 분석

[그림 5]는 시나리오별 연료비 및 탄소세의 연도별 변화를 보여준다. 결과에 따르면, 미준수 시나리오는 전통 화석연료(HFO)를 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 부담이 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/tCO<sub>2eq</sub>로 설정되어 미준수 시나리오 대비 낮은 수준이지만, 연료비 상승분과 상쇄되지 않아 총비용은 미준수 시나리오와 강화목표 시나리오의 중간 수준에서 형성된다. 이는 일정 수준의 연료 전환 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 감축목표를 충족하기 위한 조기 연료 전환이 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 지출계획 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 정책수단으로서의 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, 전환경로 상에서 중기조치가 유도할 수 있는 다양한 선택지를 병행하여 고려할 필요가 있음을 제안한다.

### C. 시나리오간 상대적 비용 분석

앞서 살펴본 비용분석 결과는 중기조치가 해운 연료비와 총비용구조에 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 완충경로로 작동하며, 점진적 대응전략으로 해석된다. 이러한 결과는 향후 중기조치가 단계적으로 강화될 것을 고려할 때, 어떤 전략이 국제해운의 탄소중립 이행에 실질적으로 기여할 수 있는지에 대한 시사점을 도출하는 출발점이 된다.

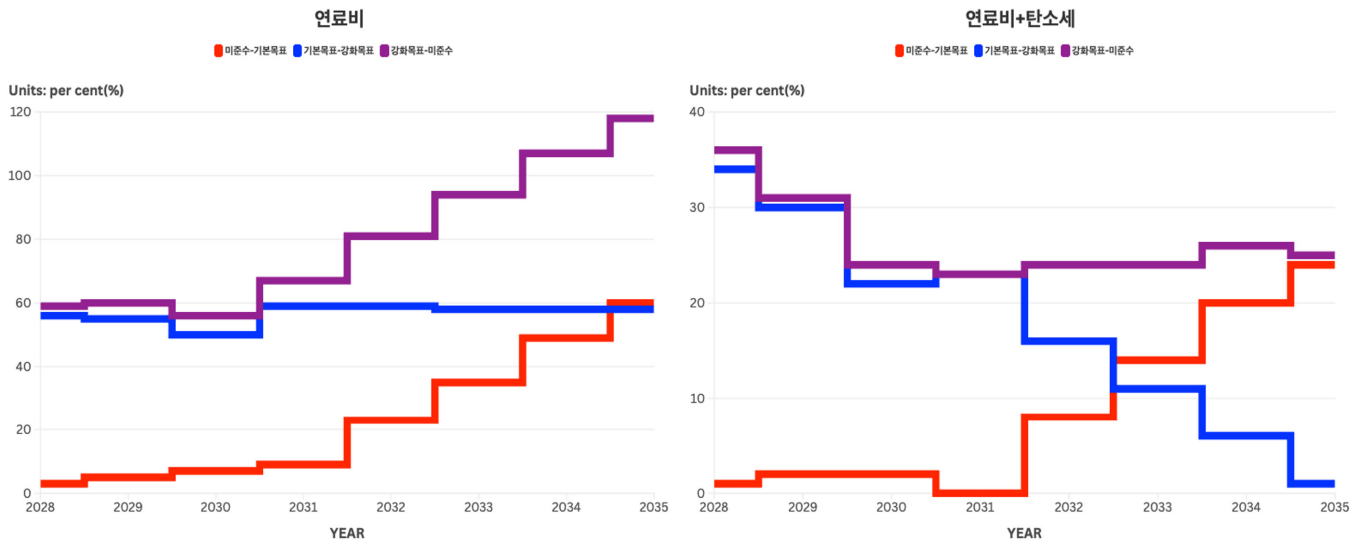


그림 6 시나리오 간 비용의 상대 격차 추이

[그림 6]은 시나리오 간 연도별 비용구조 변화를 백분율 기준으로 비교한 그래프로, 시나리오 선택에 따른 상대적 비용 격차를 직관적으로 보여준다. 좌측 그래프는 각 시나리오 간 연료비 차이만을 비교한 결과이며, 연도별로 시나리오 간 연료비 상승폭과 격차를 파악할 수 있다. 본 분석에서는 연료 비용을 보수적으로 설정하여, 모든 연료 가격이 현재 수준에서 일정하게 유지된다고 가정하였다. 우측 그래프는 여기에 중기조치에 따라 부과되는 탄소세(RU)를 반영한 총비용구조로, 단순 연료비뿐만 아니라 정책 이행 비용까지 고려한 종합적 부담 수준을 비교할 수 있도록 구성되어 있다. 두 그래프를 나란히 배치함으로써, 시나리오 간 비용 격차가 어떻게 변화하는지 쉽게 파악하고 전환 시점과 전략 선택에 있어 판단 근거를 제공하고자 한다.

연료비 그래프(좌)에 따르면, 미준수 시나리오와 기본목표 시나리오 간의 비용 차이는 2028년 3% 수준에서 시작해, 2035년에는 60%까지 점진적으로 확대된다. 한편, 기본목표 시나리오와 강화목표 시나리오 간의 연료비 격차는 전 기간에 걸쳐 60% 수준으로 비교적 일정하게 유지되며, 초기 부담 이후의 추가 상승은 크지 않다. 가장 큰 차이를 보이는 것은 강화목표 시나리오와 미준수 시나리오 간 비교로, 2028년 약 60%에서 시작해 2035년에는 그 격차가 120% 수준까지 증가한다. 즉, 기업이 강화목표 시나리오에 따라 2028년 조기 전환할 경우 미준수 시나리오 대비 약 60%의 추가 부담이 발생하지만, 2035년까지 늦출 경우 미준수 시나리오 대비 약 120% 수준의 비용을 단기간에 집중적으로 지출해야 하는 상황에 직면하게 된다. 이는 총비용 합이 유사하거나 낮더라도, 연간 재무 흐름 관점에서 후자의 전략이 상당한 리스크로 작용할 수 있음을 시사한다.

그러나 중기조치의 탄소세(RU) 도입에 따라 이러한 경향은 달라진다. 총비용 그래프(우)에서 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.

기본목표 시나리오는 2028년 기준으로 미준수 시나리오와의 비용 차이가 불과 1%로 사실상 동일한 수준에서 시작한다. 그러나 이후 탄소세 부담이 본격화되면서 총비용이 가파르게 증가해, 2035년에는 양 시나리오 간 격차가 24%까지 벌어진다. 반면, 기본목표 시나리오와 강화목표 시나리오 간의 비용 격차는 초기에는 34%로 크지만, 시간이 지날수록 점진적으로 줄어들어 2035년에는 1%까지 좁혀지고, 이후에는 오히려 역전 가능성도 존재한다. 이는 강화목표 시나리오가 초기 전환비용은 높지만, 장기적으로는 탄소세 부담 회피를 통해 오히려 더 낮은 총비용을 실현할 수 있음을 의미한다. 이러한 분석을 통해 기본목표 시나리오는 단순한 과도기적 선택이 아니라, 강화목표로의 전환비용을 분산하고 흡수할 수 있는 전략적 완충경로로 가능성이 확인된다.

## (5) 고 찰

종합하면, 본 분석은 IMO의 중기조치가 유도하는 전환경로와 비용구조를 통해 제도의 실효성과 구조적 한계를 동시에 보여준다. 특히 현재 중기조치 아래에서는, 가장 충실히 감축을 이행하는 강화목표 시나리오가 오히려 가장 큰 비용 부담을 지는 결과로 나타나, 제도를 이행할수록 단기적으로 불이익을 감수해야 하는 역진적 구조의 위험성이 확인된다. 다만, 본 분석은 초과유닛(SU) 거래 가능성 등 중기조치의 보상체계는 고려하지 않았으며, 제도의 불확실성이 해소되지 않은 상태에서 비용구조를 보수적으로 평가하였다. 그 결과, 현재 중기조치에서 승인된 연료의 온실가스 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 보상체계 마련 등 제도적 개선이 병행된다면, 중기조치의 실효성은 충분히 보완될 수 있다. 특히, SU 가격체계와 감축 인센티브 제도가 어떻게 구체화되느냐에 따라 조기 전환 유인이 크게 달라질 수 있다. 중기조치가 효과적인 전환 정책으로 작동할 수 있을지는 정책 설계의 명확성과 실행력에 달려 있으며, 이는 시장에 명확한 보상 신호와 전환 유인을 제공해야 한다. 또한, 연료비 격차가 전환의 주요 장애요인으로 작용하고 있는 만큼, e-fuel 생산 인프라 확충, 공급 안정성 확보, 연료비 보조, 행정 절차 간소화 등 현실적인 국가적 지원방안도 함께 마련되어야 한다.

해운업계의 탈탄소 전환은 피할 수 없는 미래이며, 지금이 가장 유리한 대응 시점이다. 기본목표 시나리오를 시작점으로 설정하고, 시간이 지남에 따라 강화목표로 전환하는 단계적 대응전략은 장기적인 경제성과 유연성 모두를 고려했을 때 가장 현실적인 경로로 평가된다. 중기조치는 이 전환경로를 제시하는 첫 번째 체계이며, 지금 이행하느냐, 아니면 나중에 더 큰 비용과 더 적은 선택지를 감수하느냐 하는 결정만이 남아 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] IMO MEPC 83, Cost-effective pathways to reach net zero by 2050 for the international shipping sector: fuel transition outlook and policy implications
- [3] IMO, Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (2021)
- [4] Methanol Institute, Economic value of methanol for shipping under fuelEU maritime and EU ETS (2024)
- [5] European Commission, FuelEU Maritime Initiative (2023)
- [6] 한국선급(KR), 선박연료로서 바이오연료의 현황과 전망 (2024)
- [7] Argus, Biomethanol-methanol diff widens, UK demand ticks up (2025)
- [8] 기후솔루션(SFOC), 해운 중간 대체연료의 환경 리스크와 한·중·일 연료 활용계획 (2024)
- [9] Clarksons Research Data, 2010년~2024년 신규 건조량 범위 DWT 기준 (최종 접속일 2025년 3월 24일)