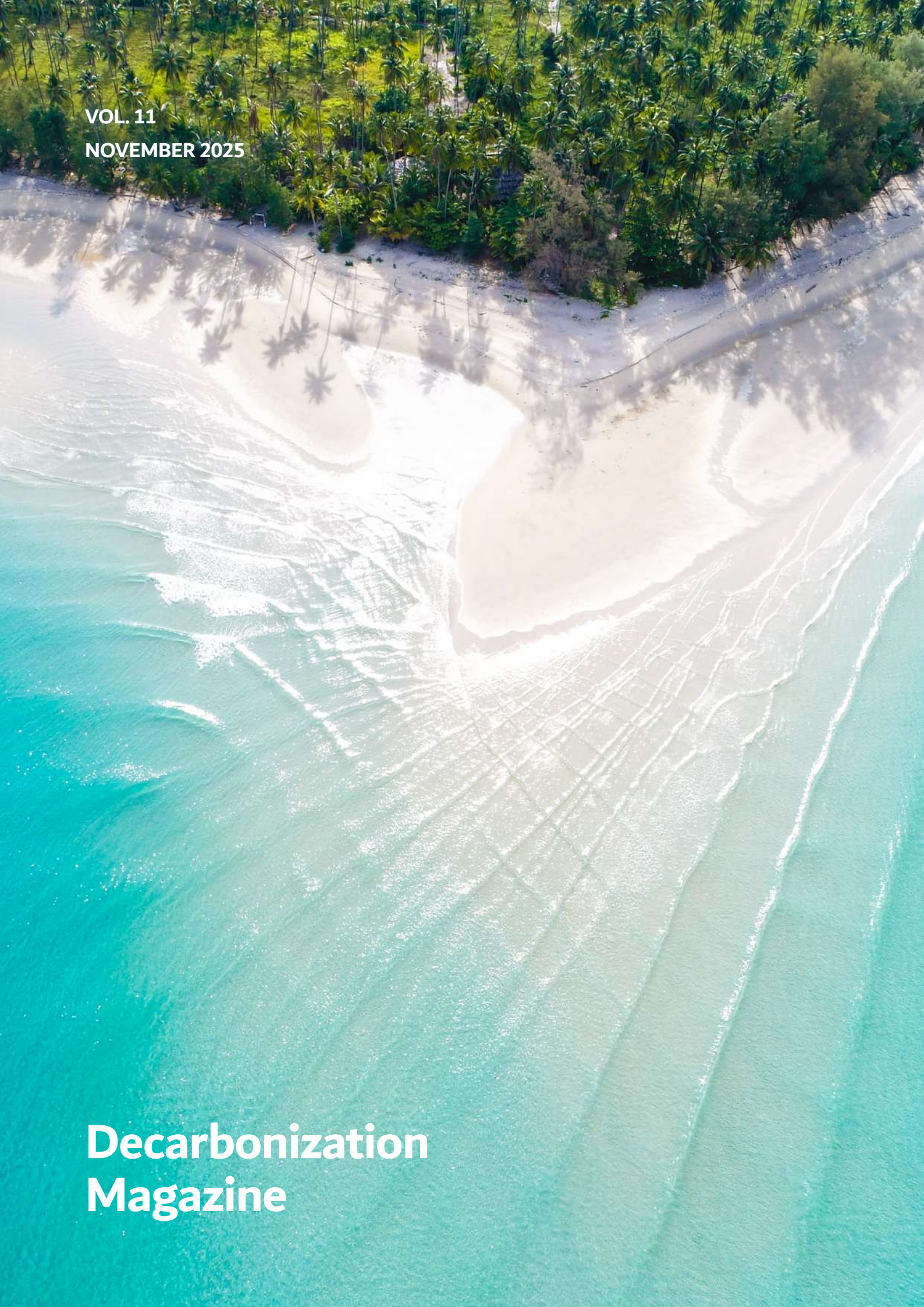

KR Decarbonization Magazine

VOL. 11
NOVEMBER 2025



KR Decarbonization Magazine

**VOL. 11
NOVEMBER 2025**

An aerial photograph of a tropical coastline. The top half of the image shows a dense forest of palm trees and other greenery. Below the forest is a wide, white sandy beach. The bottom half of the image shows the turquoise ocean with gentle waves washing onto the shore. Long, dark shadows of the palm trees are cast across the sand and the shallow water, indicating a low sun position. The overall scene is peaceful and idyllic.

VOL. 11
NOVEMBER 2025

Decarbonization Magazine

CONTENTS

Editor's Note		04
Insights	데이터 기반 선박 운항성능 분석과 에너지 절감장치(ESD: WAPS) 성능 추정	08
	바이오 연료 시리즈 I 넷제로 전환을 위한 바이오 연료: 기술적 도전과 운영적 관점	16
Interview	에너지 효율 개선에서 대체 연료, 디지털 최적화까지 Danaos의 탈탄소화 항로 Evi Politi, Danaos Shipping R&D 디렉터	26
Regulatory Updates	IIACS 최신 동향 I	34
Inside KR	HD현대 암모니아 연료 선박 안전 솔루션 'Hi-CLEARs' 개념 승인	38
	HD현대 개발 LNG 증발 가스 처리 설비에 개념 승인 수여	39
	HD현대미포·HD한국조선해양 개발 ECA 기반 구조 건전성 평가 적용 Type-C 탱크 설계에 개념승인 수여	40
	KR·HD현대삼호, 암모니아 추진선 연료 배관 안전 기술 공동 개발 착수	41
	삼성중공업 개발 15MW급 부유식 풍력발전 하부구조물 'SnapWind Float'에 개념 승인	42
	한화엔진 개발 암모니아 연료공급시스템 개념승인 수여	43

Editor's Note

2025년 가을, 해운 산업의 탈탄소 항로는 이제 방향을 설정하는 단계를 넘어, 본격적인 실행의 시기로 접어들고 있습니다. 올해 4월에 열린 IMO 제83차 MEPC에서 ‘Net-Zero GHG Framework’가 공식 승인되면서, 국제 해운은 명확한 온실가스 감축 이정표를 갖게 되었습니다. 더 이상 탄소중립은 선택적 대응이 아닌, 운항·연료·인증·데이터가 모두 연동된 통합 관리체계로 진화하고 있습니다.

다만, Net-Zero GHG Framework의 공식 채택이 1년 연기되면서, 규제 일정의 불확실성이 일시적으로 높아졌습니다. 그러나 이는 단지 시기의 문제일 뿐, 탈탄소로 향하는 해운 산업의 흐름 자체가 바뀐 것은 아닙니다. 지구 온난화를 막기 위한 인류의 노력은 계속되고 있으며, 국제 해운의 탈탄소 전환은 이미 되돌릴 수 없는 방향으로 나아가고 있습니다. 결국 중요한 것은 ‘언제 시작할 것인가’가 아니라, 지속 가능한 미래를 위해 ‘지금 무엇을 실행하느냐’입니다.

EU에서는 이미 EU ETS와 FuelEU Maritime이 시행되어 선박의 온실가스 배출이 직접적인 비용으로 환산되고 있습니다. 이제 선사들은 온실가스 감축 전략을 실제 성과로 입증해야 하며, 조선소와 기자재 산업은 대체 연료 기술, 에너지 절감장치(ESD, Energy Saving Device), 운항 효율 솔루션의 신뢰성을 체계적으로 검증받아야 하는 시대에 들어섰습니다.

이번 호에서는 운항 데이터 기반 성능 분석과 ESD 성능 추정을 중심으로, 실제 운항 데이터 분석과 ESD 설치를 통한 에너지 효율 개선 및 실제 성능 검증의 방향을 다루었습니다. 선박의 운항 데이터는 이제 단순한 보고 지표를 넘어, 연료 절감 효과를 입증하고 감축량을 정량화하는 핵심 자산으로 인식되고 있습니다. KR은 이러한 데이터를 기반으로 추진 성능과 연료 효율을 분석하며, 다양한 에너지 절감 장치(ESD)의 효과를 정량적 모델링과 추정 기법으로 검증하는 방안을 개발하고 있습니다.

또한, 바이오 연료 상용화와 KR SusBio 노테이션 개발에 관한 내용을 함께 소개했습니다. 바이오 연료는 이미 현실적인 대체 연료로 자리 잡았으며, IMO와 EU 모두 저탄소 대체 연료 전환을 위한 주요 수단으로 인정하고 있습니다. 이에 대응해 KR은 연료의 종류, 혼합비, 연소 특성, 저장·취급 안전성, 엔진 인증 요건 등을 종합적으로 검토한 새로운 ‘KR SusBio’ 노테이션을 개발했습니다. 이 노테이션은 연료의 지속가능성과 운항 안전성을 동시에 보증하는 체계로, 국제 규제 대응뿐만 아니라 선박의 상업 운항 신뢰성 확보에도 실질적인 도움을 줄 것입니다.

이번 호에는 그리스 다나오스(Danaos)사 R&D 디렉터 Evi Politi 박사의 인터뷰도 함께 수록되었습니다. Politi 박사는 대체 연료 전환, ESD 적용, 디지털 전환을 통한 운항 최적화 등 기술적 이슈뿐 아니라, 탄소세의 최종 부담 주체, 소형 모듈 원전(SMR, Small Modular Reactor)의 해운 적용 가능성, 그리고 미국의 조선·해운 정책이 전 세계 탈탄소 시장에 미치는 지정학적 영향까지 폭넓게 언급했습니다.

Politi 박사는 “탈탄소는 기술만의 문제가 아니라, 정책과 시장, 그리고 에너지 및 안보가 얽힌 복합적 과제”라고 강조했습니다. 그는 이에 대응하기 위해 Danaos가 실시간 운항 데이터를 기반으로 한 에너지 관리 체계와 연료별 감축 효과 및 비용을 통합적으로 비교 및 분석하는 운항 의사결정 플랫폼을 구축하고 있다고 밝혔습니다. 또한 그는 국제 규제 변화 속에서 공인 인증 기관의 기술 검증과 데이터 표준화 역할이 중요하다고 언급하며, 산업 전반이 신뢰할 수 있는 데이터 생태계를 함께 만들어가야 한다고 강조했습니다. Politi 박사의 통찰은 탈탄소를 단순한 기술적 접근에만 한정하지 않고, 글로벌 정책과 경제 구조 속에서 바라보는 균형 잡힌 시각을 제시합니다. 그의 견해는 해운 탈탄소가 더 이상 개별 기술의 문제가 아니라, 국제 협력과 정책적 조율이 병행되어야 하는 복합적 전환임을 상기시켜 줍니다.

이번 호의 ‘Inside KR’ 코너에서는 Gastech 2025 현장에서의 협력 성과를 중심으로, KRI 주요 조선·엔진·기자재 기업들과 함께 추진한 암모니아, LNG, 풍력 등 차세대 친환경 기술의 개념승인과 공동 개발 현황을 전했습니다. 이러한 활동들은 Gastech 2025를 계기로 한층 강화된 산업 간 협력 네트워크의 결실이자, KRI가 국제 무대에서 친환경·대체연료 기술 검증의 신뢰 파트너로서 역할을 확대하고 있음을 보여주는 대표적 사례입니다.

이번 호를 함께 만들어주신 국내외 전문가 여러분, 그리고 인터뷰에 기꺼이 참여해 주신 Danaos Shipping의 Evi Politi 박사님께 깊이 감사드립니다. 또한, KR 연구진과 현장 전문가 여러분이 보여준 헌신과 노력에 진심으로 경의를 표합니다.

이제 우리는 탄소중립의 ‘목표’를 세우는 단계를 넘어, 그 ‘성과’를 증명해야 하는 시대에 서 있습니다. KR은 기술의 신뢰성과 산업의 지속가능성을 잇는 ‘Bridge for Decarbonization’으로서, 국제 해운의 새로운 미래를 함께 만들어가겠습니다. 



KR 친환경선박해양연구소장 **송강현**

KR Decarbonization Magazine

Insights

Insights 1

데이터 기반 선박 운항성능 분석과 에너지 절감장치(ESD: WAPS) 성능 추정

Insights 2

바이오 연료 시리즈 I

넷제로 전환을 위한 바이오 연료: 기술적 도전과 운영적 관점



데이터 기반 선박 운항성능 분석과 에너지 절감장치(ESD: WAPS) 성능 추정

KR 선박해양기술팀 김민수 책임



글로벌 친환경 규제 영향

올해 4월, 국제해사기구(IMO)는 ‘Net-Zero Framework’를 승인하며 해운 산업의 탈탄소 전환에 한층 속도를 높이고 있다. 기존의 단기조치(EEDI, CII 등)가 규제 중심이었다면, 이번 승인에서는 연료 전환을 촉진하고 온실가스 배출에 직접적인 탄소 비용을 부과하는 방향으로 확장됐다.

특히, 선박이 HFO를 사용하면서 유럽에 기항할 경우 IMO와 EU 규제를 동시에 적용 받게 되며, 이때 선박의 CAPEX가 1일 때 OPEX는 2, 탄소 비용은 4~6으로 예상된다. 이에 따라 선사들은

예정에 없던 탄소 비용을 최대한 줄이기 위해 모든 노력을 기울이고 있다.

탄소 비용은 IMO에서 정한 Direct 및 Base 기준 충족 여부에 따라 Tier 1 또는 Tier 2로 구분된다. Base 기준을 만족하지 못하면 Tier 2로 분류되어 징벌적 비용을 부담하게 되며, 반대로 무탄소 연료 사용으로 Direct 기준을 초과 달성하면 인센티브를 받을 수 있다.

탄소 비용 절감을 위해서는 연간 GFI(Greenhouse Gas Fuel Intensity) 값을 낮추고, 동시에 사용 에너지의 효율을 높여야 한다.

- ▶ GFI를 낮추는 방법은 연료 전환을 통해 온실가스 배출량을 줄이거나, 육상전기·풍력·태양광과 같은 무배출 에너지를 추가로 사용하는 것이다.
- ▶ 에너지 효율을 높이는 방법은 선체 및 프로펠러의 오손(Fouling) 관리, 엔진 효율 유지·관리, ESD(Energy Saving Devices) 설치, 운항 최적화 등이 있다.

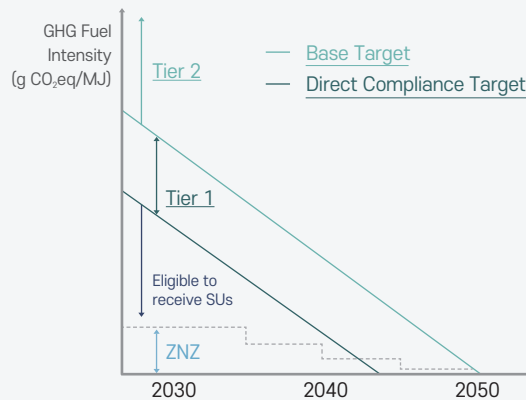
연료 전환은 이미 디카보나이제이션 매거진에서 계속해서 다뤄지고 있으므로, 이번 글에서는 에너지 효율 개선 방안과 무배출 에너지 중 바람을 활용한

풍력보조추진(WAPS, Wind-Assisted Propulsion System)에 대해 소개하고자 한다.

$$GFI_{\text{attained}} = \frac{\sum_{j=1}^J EI_j \times \text{Energy}_j}{\text{Energy}_{\text{total}}}$$

EI_j : GHG Intensity of Fuel j

$\text{Energy}_{\text{total}}$: Total energy used from all sources (Fuel, AMP, Wind, etc.)



- Fuel Transition from HFO to ZNZ or zero emission energy

- Improvement of Energy Efficiency by Operational or Technical measures

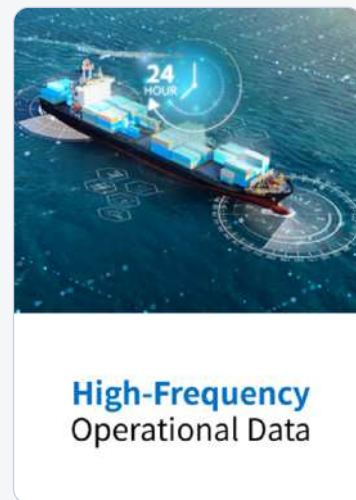
$$\text{Tier 1 RU} = \text{Annual GFI}(\text{Direct} - \text{Base}) \times \text{Energy}_{\text{total}} \times \$100$$

$$\text{Tier 2 RU} = \text{Annual GFI}(\text{Base} - \text{Attained}) \times \text{Energy}_{\text{total}} \times \$380$$

에너지 효율 개선을 위한 데이터 기반 운항 데이터 분석

에너지 효율을 개선하기 위해서는 선박의 실제 성능을 정확히 파악하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 선사가 보유한 데이터를 활용해야 한다. 선사가 보유한 데이터는 연간 연료 소모량 데이터, 일일 연료 소모량 데이터, 그리고 고빈도 계측 데이터로 구분할 수 있다. 연간 연료 소모량 데이터는 IMO DCS 및 EU MRV 보고를 위해 모든 선사가 확보하고 있으며, 일일 연료 소모량 데이터는 항해사가 작성하는 정오

데이터(Noon Report)를 통해 얻을 수 있다. 고빈도 계측 데이터는 센서를 통해 짧은 샘플링 주기로 측정된 정밀 데이터로, 이는 ‘스마트십 솔루션’이 설치된 선박에서만 수집할 수 있다. 다음에서는 데이터의 종류별로 어떤 정보를 얻을 수 있는지, 그리고 이를 통해 선사가 어떤 의사결정을 내릴 수 있는지에 대해 살펴보고자 한다.



• 연간 연료 소모량 데이터

연간 연료 소모량 데이터는 한 해 동안의 항해 거리와 항해 시간, 그리고 연료별 실제 사용량이 집계되어 있다. 이 데이터는 CII(Carbon Intensity Indicator) 등급 산정에 직접 활용되며, 선박의 연간 친환경 성과를 평가하는 데 필수적인 역할을 한다. 다만, 이러한 연간 단위의 데이터는 비교적 거시적인 수준에서의 정보만을 제공한다는 한계가 있다. 예를 들어, 동일한 선종임에도 불구하고 CII 등급에서 차이가 발생할 수 있는데, 그 원인을 구체적으로 규명하기는 어렵다. 이는 연간 데이터가 운항 조건, 실제 기상 환경, 항차별 속도, 적재 상태와 같은 세부 변수를 충분히 반영하지 못하기 때문이다.

• 일일 연료 소모량 데이터

일일 연료 소모량 데이터는 항만 체류, 입출항, 항해 등 운항 상태별로 세분화되어 있어 연간 연료 소모량과 달리 운항 단계별 에너지 소비 패턴을 명확히 파악할 수 있다는 장점이 있다. 특히 이 데이터를 활용하면 항만 체류 중 연료 소모량과 본 항해 중 연료 소모량을 구분하여 분석할 수 있어 어느 구간에서 비효율이 발생하는지 쉽게 진단할 수 있다. 더 나아가 KR의 환경 데이터와 동기화할 경우, 일일 연료 소모량을 다양한

주요 요인별로 세분화하여 분석하는 것도 가능하다. 다만, 하루치 데이터를 하나의 대푯값으로 사용하는 특성상 세부적인 변동성을 충분히 반영하지 못한다는 정확도에 대한 한계도 존재한다.

• 고빈도 계측데이터

스마트십 솔루션을 탑재한 최신 선박에는 다양한 센서를 통해 수집되는 고빈도 계측 데이터가 있다. 이 데이터는 초·분 단위의 짧은 간격으로 기록되며, 항해 정보와 기관 정보가 포함된 시계열 데이터다. 이 데이터로 선속, 흘수, 타각과 같이 선박 성능에 영향을 미치는 운항 상태에 대해 통계적으로 확인할 수 있으며, KR의 해상 환경 데이터와 동기화되면 풍속, 파고, 수온 등 외부 환경 요인까지 통계적으로 확인할 수 있다. 또한 파고·풍속에 따른 성능 변화와 타각 데이터를 통해 항해사의 운항 습관도 파악할 수 있다.

다양한 변수가 포함된 계측 데이터에서 해상 환경이 양호하고 운항이 안정적으로 이루어진 구간만을 선별하면, 선박의 순수한 기술적 성능을 추정할 수 있다. 그리고 장기간 축적된 데이터를 항차별로 구분해 분석하면 선체 및 프로펠러 오손 효과, 엔진 효율 감소 등 시간에 따른 기술적 성능 저하율을 도출할 수 있으며, 이를 활용해 선사는 최적의 유지보수 시점을 결정할 수 있다. 동형선이 존재하는 경우에는 선박 간 성능 비교도 가능하다. 선박 성능, 유지보수 상태, 엔진 효율 저하를 기술적 성능으로 나타내고 항만 대기, 해상 환경, 운항 습관을 운항적 성능으로 하여 비교하면, 각 선박별로 에너지 효율을 개선하기 위한 최적의 조치를 도출할 수 있다.

선사가 보유한 세 가지 데이터 중, 선박 성능을 정밀하게 파악하기 위해서는 스마트십 솔루션을 통해 수집되는 고품질 계측 데이터가 핵심이다. 또한 시간에

따른 성능 저하율을 분석하기 위해서는 장기간의 데이터 축적이 반드시 필요하다.

규제별 WAPS의 영향 및 성능 추정 사례

친환경 규제에서는 온실가스 배출 저감에 기여하는 ESD(Energy Saving Device)에 대해 인센티브 체계를 마련하여 보상하고 있다. 특히, WAPS의 경우 다른 ESD에 비하여 GFI를 낮춤과 동시에 에너지 효율을 개선하여 탄소 비용에 이중적인 혜택을 받을 수 있다.

EEDI는 WAPS의 상위 50% 성능 조건만 반영하기 때문에 실제보다 약 2배 높게 추정된 효율이 산정되고, FuelEU Maritime에서는 Fwind라는 Reward

Factor를 도입하여 WAPS가 5%, 10%, 15% 이상의 에너지 절감 효과를 달성할 경우, 1~5%의 추가 인센티브를 제공하고 있다. 한편, IMO Net-Zero 프레임워크는 GFI 산정 시 선박의 총에너지 사용량에 WAPS 기여분을 가산하는 방식으로 중복 혜택을 받을 수 있도록 설계되어 있다. 이에 따라 KR에서는 규제에서 권고하는 WAPS의 효율 계산 절차를 개발하고 평가 방법별 효율을 비교·검증했다.

EEDI	GHG Intensity Fuel EU Maritime	GFI IMO Net-Zero Framework(Mid Term)								
$\frac{CO_{2,ME} + CO_{2,AE} - CO_{2,reduction,ESD}}{Capacity \times Speed}$	$f_{wind} \times \frac{\sum_{j=1}^J EI_j \times Energy_j}{Energy_{total}}$ (WwT + TtW)	$\frac{\sum_{j=1}^J EI_j \times Energy_j}{Energy_{total}}$								
Weighted average over global shipping route's wind condition	f_{wind} Reward factor for WAPS based on EEDI performance <table><tr><th>f_{wind}</th><th>Criteria</th></tr><tr><td>0.99</td><td>$0.05 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.10$</td></tr><tr><td>0.97</td><td>$0.10 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.15$</td></tr><tr><td>0.95</td><td>$P_{wind} / P_{ME} \geq 0.15$</td></tr></table>	f_{wind}	Criteria	0.99	$0.05 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.10$	0.97	$0.10 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.15$	0.95	$P_{wind} / P_{ME} \geq 0.15$	$Energy_{total}$ Fuel Oil, Electric From Shore +Zero-emission Energy Source
f_{wind}	Criteria									
0.99	$0.05 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.10$									
0.97	$0.10 \leq P_{wind} / P_{ME} < 0.15$									
0.95	$P_{wind} / P_{ME} \geq 0.15$									

대상 선박은 초대형 광석운반선(VLOC)으로 로터세일과 윈세일을 각각 5기씩 설치한 경우를 가정했다. 먼저, 전산 유체역학(CFD) 기반으로 WAPS의 성능을 분석하여 성능 폴라 차트를 만들었다. 이 차트는 풍향·풍속 조건별 WAPS의 성능을 시각화 하여 장치별 특징을 파악할 수 있게 한다. 로터세일은 로터 회전수와 풍속의 최적 비율에 의해 최대 풍속 활용에 한계가 있으며, 마그누스 효과로 인해 사풍과 측풍에서 강한 추진력을 나타낸다. 반면 윈세일은 로터세일과 동일한 추력을 내기 위해 약 4배의 면적이 필요하지만, 최대 풍속 활용에 제약이 없고 양력과 항력을 이용해 후면풍 조건에서도 추진력을 발휘할 수 있다. 결과적으로 면적 증가에 따른 공간 효율성과 돌풍 대응 안전성이 확보된다면, 윈세일이 장기적으로 더 우수한 성능을 발휘할 가능성이 있다.

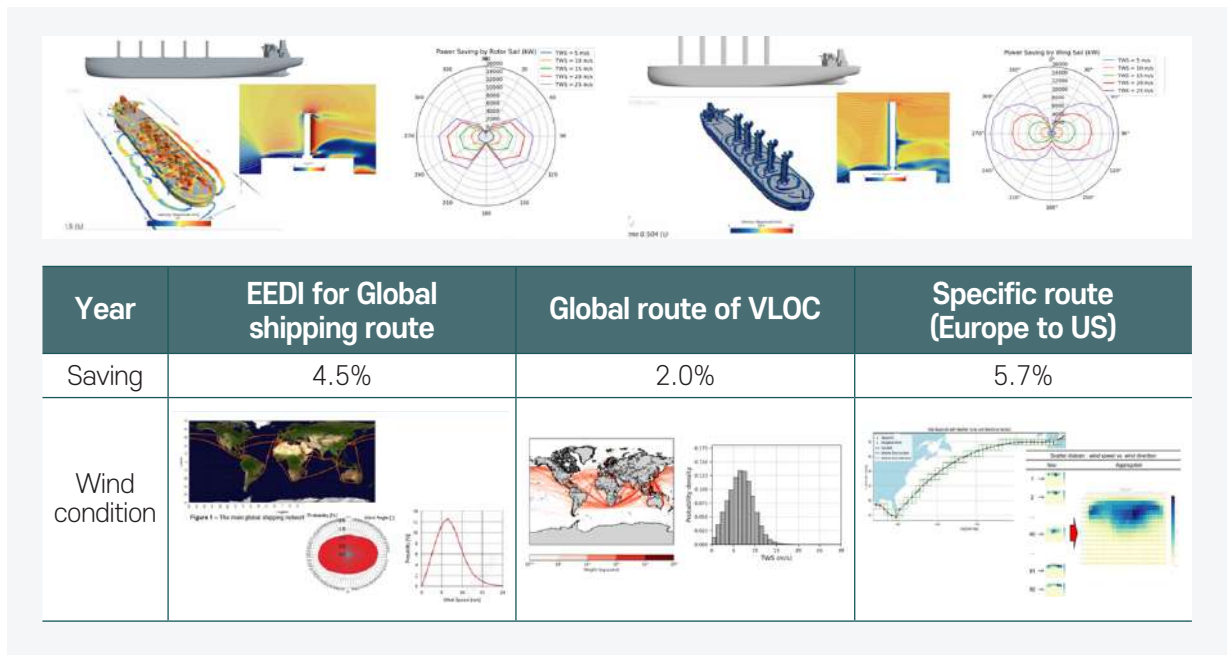
KR은 로터세일의 성능 폴라 차트를 기준으로 세 가지 평가 방법을 적용하여 효율을 산출했다. 첫 번째는 EEDI 평가 방식으로, 이는 설계 단계에서 대상 선박의 실제 항로와 무관하게 추정하는 방식이며 MEPC에서 제공하는 글로벌 항로 풍향·풍속 분포표(Wind Matrix)를 적용한다. 그 결과 약 4.5%의 동력 절감 효과가 확인됐지만, 이 결과는 선박의 실제 항로가 고려되지 않았기 때문에 실선 적용 효과로 보기는 어렵다.

두 번째는 VLOC의 AIS 데이터를 기반으로 글로벌 항로를 추출하고 이를 해상 환경 데이터와 동기화하여 만든 Wind Matrix를 이용하여 효율을 분석했다. 그 결과 EEDI 평가 방법의 절반 수준인 약 2.0% 수준의 동력 절감 효과가 확인됐다.



마지막은 WAPS의 최대 효과를 확인하기 위해 바람이 좋은 북대서양 항로에 대한 Wind Matrix를 만들어 효율을 분석했고, 그 결과 초대형선임에도 불구하고 최대 5.7%까지 효율이 증가하는 것으로 나타났다.

즉, WAPS의 성능은 평가 방법과 항로 조건에 따라 크게 달라지므로, 실제 항로와 환경 조건을 반영한 정밀 분석이 필수적이다.



ESD의 3자 검증 가이드 라인

WAPS는 친환경 규제 측면에서 이중 혜택을 누릴 수 있음에도 불구하고, 선사들은 여전히 이에 대한 투자를 망설이고 있다. 가장 큰 이유는 초기 설치 비용 부담과 효율에 대한 불확실성으로 투자 회수 기간(ROI, Return on Investment)을 객관적으로 검토하기 어렵다는 것이다. 이에 KR은 제3자의 입장에서, 앞서 검토한 사례처럼 실제 항로와 환경 조건을 반영한 합리적인 효율 계산 절차를 마련하고 있다. 이를 통해

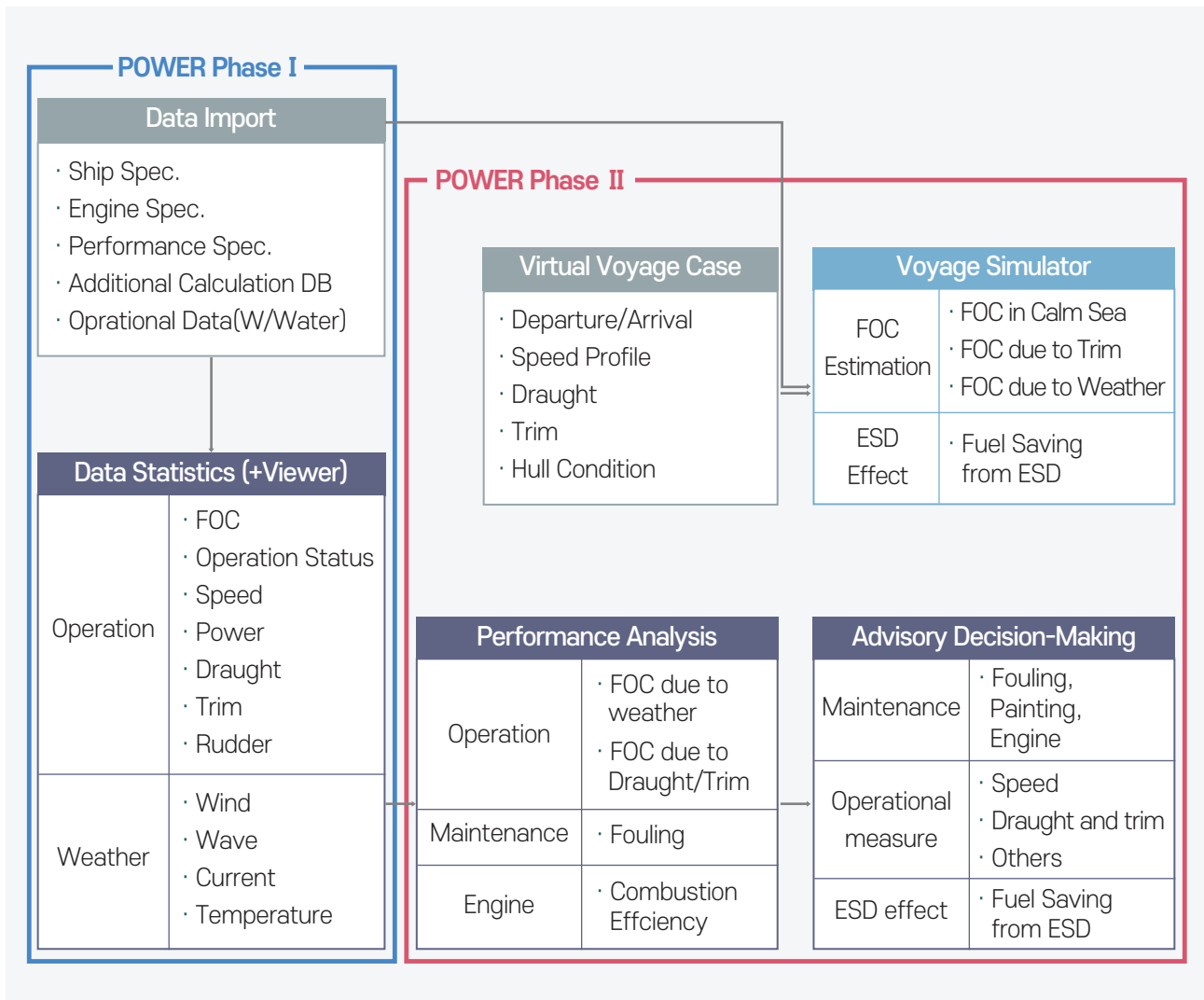
KR은 선사들이 보다 현실적인 기준으로 투자 타당성을 검토할 수 있도록 지원하고자 한다. 또한 KR은 WAPS에 국한되지 않고 이산화탄소 포집 기술(OCCS, Onboard Carbon Capture System), 폐열 회수 장치(WHRS, Waste Heat Recovery System), 선체에 부착되는 패시브형(Category A 타입) ESD 등 다양한 에너지 절감 장치에 대한 효율 추정 절차를 개발하여 서비스 범위를 확대하고 있다.

에너지 효율 개선을 위한 의사결정 지원

KR은 운항 성능 분석을 통해 선박의 성능과 실질적인 ESD의 효율을 추정하고, 이를 기반으로 에너지 효율 개선 의사결정을 지원하는 운항 데이터 분석 솔루션 (KR-POWER)을 개발하고 있다. 개발은 두 단계 나누어 추진된다. 1단계는 2025년 말 공개 예정으로, 입급 선박을 대상으로 선사가 보유한 운항 데이터와 KR의 해상 환경 데이터 및 AIS 데이터를 결합하여 운항 특성, 기상 데이터, 연료 소모량을 통계적 가시화한다. 2단계는 2026년 말 출시를 목표로 하며, 계측 데이터 기반의 데이터 시각화와 성능 분석 기능을 확대할 예정이다. 이를 통해 요인별 연료 사용량 분석 및 오손으로 인한 성능 저하와 엔진 연소 효율 감소를 정량화하고 분석 결과를 토대로 흘수, 트림, 선속 등

가상의 운항 조건에서 연료 소모 예측 및 ESD 효과 시뮬레이션 기능을 제공할 계획이다. 이러한 기능을 활용해 선사는 다양한 운항 조건을 가정한 에너지 효율 개선 전략을 사전에 검토할 수 있다. 특히 유지보수 측면에서는 선체 및 프로펠러 오손 상태, 선체 도장 상태, 엔진 효율을 점검할 수 있으며, 운항 측면에서는 선속, 흘수 및 트림에 따른 성능을 확인할 수 있다. 아울러 기술적 측면에서는 ESD 효과를 검토함으로써 보다 합리적인 의사결정을 내릴 수 있다.

KR은 이러한 기능을 구현하기 위해 조선소의 스마트십 솔루션과 선사의 Fleet Control Center 데이터를 KR 스마트십 플랫폼과 연동하는 작업을 병행하고 있다. 

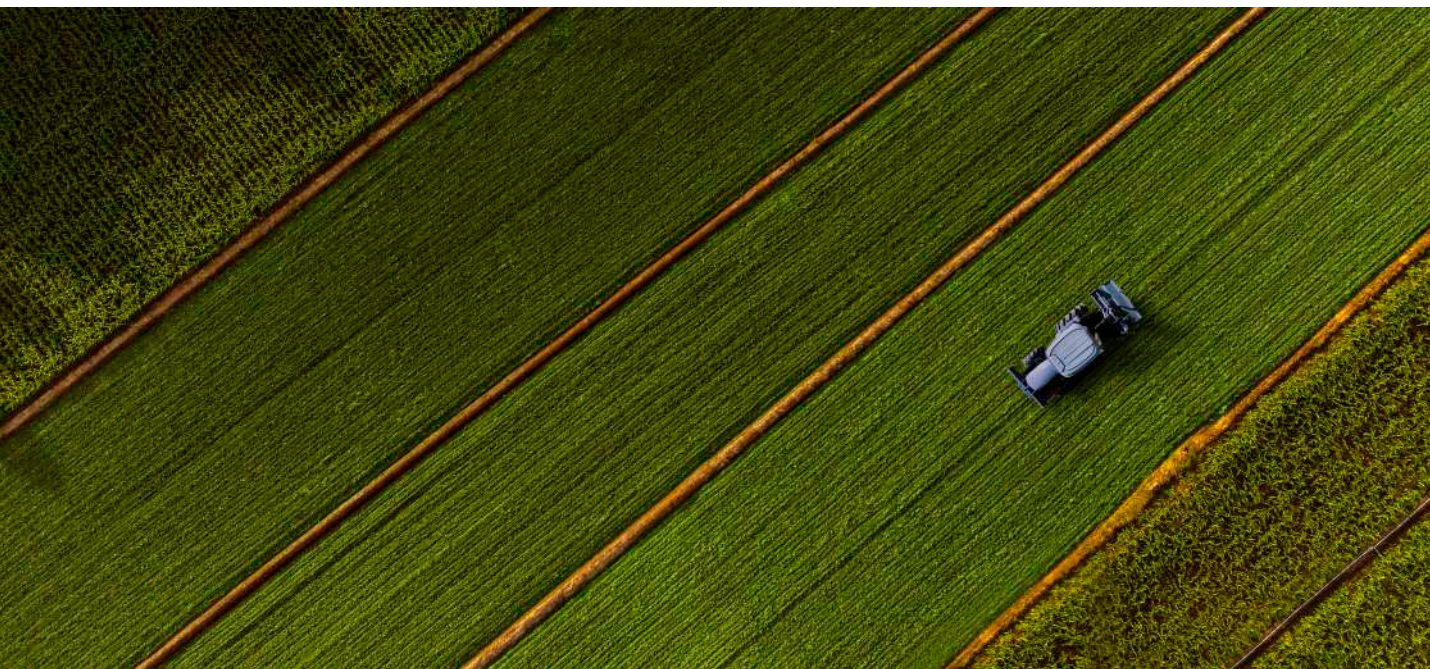




바이오 연료 시리즈 I

넷제로 전환을 위한 바이오 연료: 기술적 도전과 운영적 관점

KR 기관규칙개발팀 하승만 수석



이번 글은 KR 바이오 연료 시리즈의 첫 편으로, 바이오 연료 전환 과정에서 나타나는 기술적·운영적 과제와 이를 해결하기 위한 KR의 대응을 살펴보고자 한다. 다음 호에 게재될 ②편은

연료유 분석 기업인 ‘VISWA Group’과 공동으로, 해운 연료에서 바이오 연료와 관련된 운영상 도전 과제, 품질 문제, 그리고 사례 분석을 심층적으로 다룰 예정이다.

해운 탈탄소의 새로운 축, 바이오 연료

바이오 연료(Biofuels)는 식물성 기름, 농업 잔재물, 폐기물 계열 물질 등 바이오매스(Biomass)를 가공·처리하여 얻는 연료를 말한다. 해운 분야에서는 전통적인 화석 연료와 물리·화학적 성질이 유사하면서도 탄소중립(Net-Zero) 달성에 기여할 수 있는 대체 연료로 각광받고 있다.

현재 대표적인 바이오 연료로는 FAME(Fatty Acid Methyl Ester), HVO(Hydrotreated Vegetable Oil), 바이오 메탄올(Bio-Methanol), 바이오 LNG(LBG), 에탄올(Ethanol), SVO(Straight Vegetable Oil), F-T 디젤(Fischer-Tropsch Diesel), 업그레이드된 열분해유(Pyrolysis oil), DME(Dimethyl Ether) 등이 있다. 이 중에서도

FAME과 HVO는 기존 선박의 연료 시스템을 대대적으로 개조하지 않고도 ‘드롭인(Drop-in) 연료’로 활용할 수 있다는 점에서, 국제 해운에서 가장 유망한 대체 연료로 꼽힌다.

즉, 기존 연료유를 완전히 대체하거나 일정 비율로 혼합해 사용할 수 있어, 단기적 전환이 용이하다.

·FAME: 비교적 보급이 활발하고, 기존 연료와 혼합 사용 사례가 늘고 있으나, 산화 안정성과 장기 저장성 측면에서 관리가 필요하다.

·HVO: 화학적 특성이 경유와 유사해 기존 디젤 엔진과의 호환성이 뛰어나며, 산화 안정성이 높아 장기 저장에도 유리하다. 다만, 가격 측면에서 제약이 따른다.

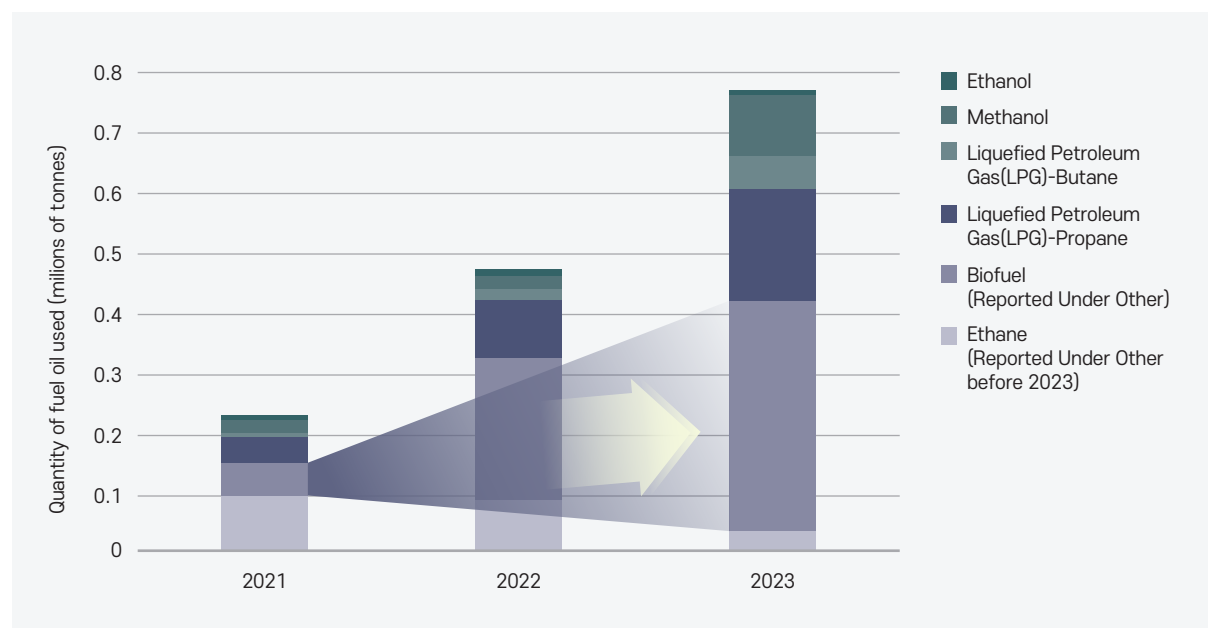
바이오 연료는 이처럼 다양한 종류와 특성을 지니며, 각각의 장단점은 향후 해운업의 연료 선택과 규제 대응 전략에 직접적인 영향을 미칠 것이다.

해운에서의 바이오 연료 현황: 아직은 초기, 그러나 성장세 뚜렷

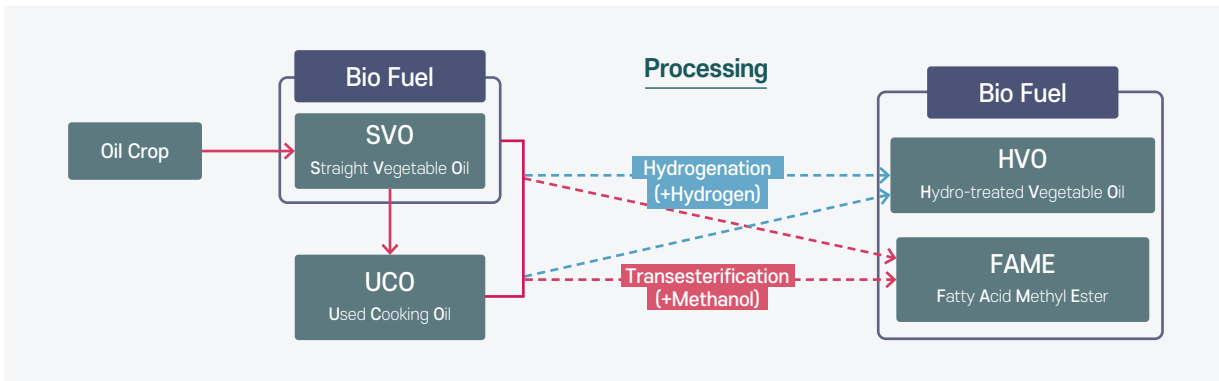
2023년 기준 전 세계 바이오 연료 소비의 대부분은 도로 운송(약 99%)에 집중되어 있으며, 항공은 0.5%, 해운은 단 0.6% 수준에 불과하다. 이를 전체 해운 에너지 사용량으로 환산하면 약 0.3%에 지나지 않는다.

다음 그래프에서 확인할 수 있듯 양적으로는 아직 미미하지만, 2021년부터 IMO DCS 보고가 본격화된

이후 매년 꾸준히 증가세를 보이고 있다는 점은 주목할 만하다. 따라서 현재 바이오 연료의 해운 부문 활용은 전체 그림에서 작은 조각에 불과하지만, 규제적 논의와 산업계 관심이 높아짐에 따라 향후 빠르게 확대될 것으로 전망된다.



FAME과 HVO의 생산 과정과 특성



여러 바이오 연료 중에서도 실제 해운업에서 가장 두 연료는 모두 식물유(SVO) 또는 폐식용유(UCO)를 빠르게 적용되고 있는 것은 FAME와 HVO이다. 기반으로 하지만, 생산 과정에서 큰 차이를 보인다.

- ▶ FAME은 원료유에 메탄올을 더해 전이에스터화(Transesterification) 과정을 거쳐 생산된다. 산소 원자가 남아 있는 에스터 결합 구조 때문에 연료가 극성(POLAR)을 띠고, 산화·분해에 취약하다. 따라서 장기 저장 시 열화가 발생하기 쉽고, 안정성이 떨어지는 편이다.
- ▶ HVO는 원료유에 수소를 첨가하는 수소화 처리(Hydrogenation)를 통해 불포화 결합과 산소를 제거한다. 이 과정에서 포화 탄화수소(Saturated Hydrocarbons) 구조로 전환되며, 석유계 디젤과 화학적으로 거의 동일한 특성을 가진다. 따라서 비극성(Non-polar) 성질을 띠고, 산화 안정성과 장기 저장성이 뛰어나다.

	주요특성	분자 구조
SVO	·탄소 이중 결합(C=C) → 불포화(Unsaturated) ·에스터 결합(-COO-) → 산소 원자 포함	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \\ \text{H}_3\text{C} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \\ \text{H}_3\text{C} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \end{array}$
FAME	·극성오일(Polar Oils)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \\ \\ \text{H} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \\ \\ \text{H}_2\text{C} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{R} \end{array}$
HVO	·포화 탄화수소(Saturated Hydrocarbons)	$\text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C}$
Distillate Oils	·탄소 이중 결합 없음, 에스터 결합 없음 ·비극성오일(Non-Polar Oils)	

이러한 구조적 차이는 실제 운항 과정에서도 중요한 영향을 미친다.

- ▶ FAME은 가격과 공급성 측면에서 장점이 있으나, 산화 안정성과 저장성에서 불리하여 철저한 관리가 요구된다.
- ▶ HVO는 안정성과 호환성 측면에서 우수하지만, 생산 원료와 가격이 시장 확대의 제약 요인으로 남아 있다.

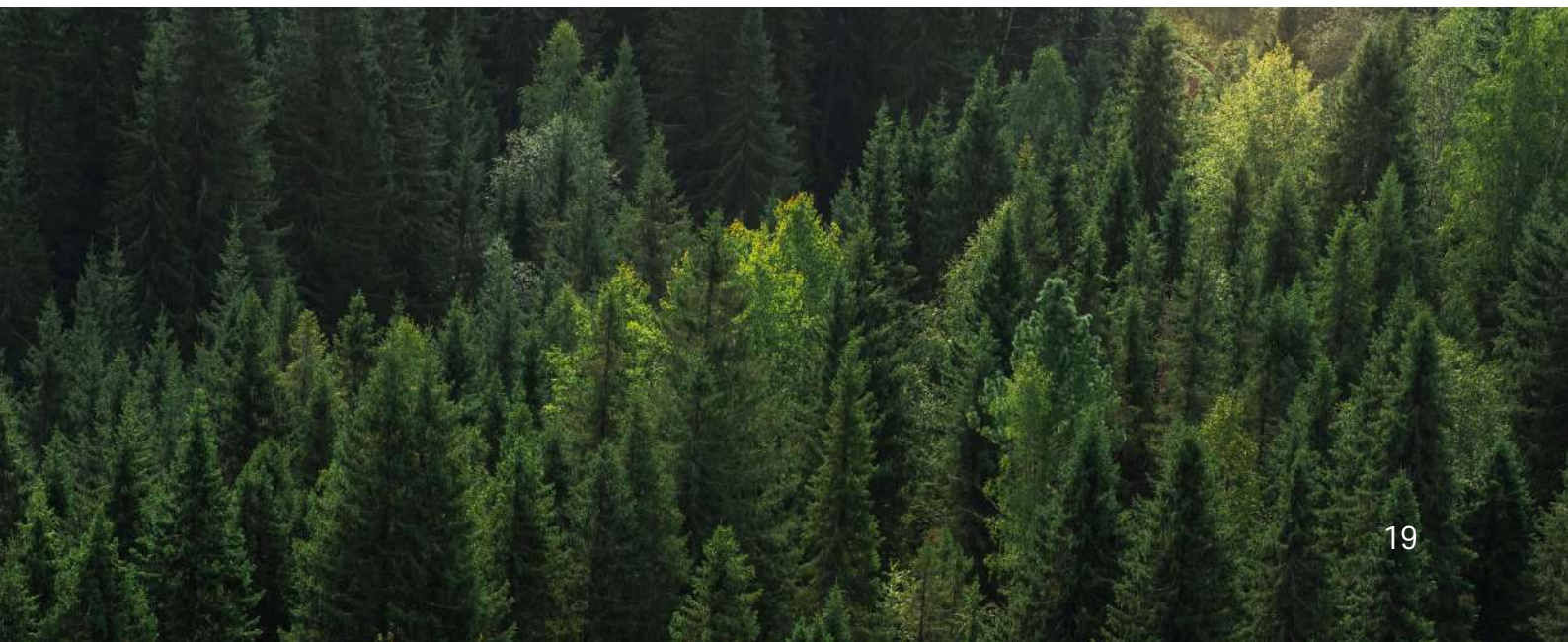
바이오 연료 도입에는 국제 해운과 항공 산업 간의 연료 경쟁이라는 중요한 도전 과제가 존재한다. 항공 분야는 탄소 감축을 위해 SAF(Sustainable Aviation Fuel) 활용이 필수적이며, 이 가운데 HVO는 HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)라는 이름으로 SAF 생산의 주축을 이루며 각광받고

있다. 항공 연료는 다른 대체 수단이 제한적이어서 상대적으로 높은 비용을 감수할 수 있기 때문에, HVO가 해운 부문에서 본격적으로 도입되기에는 현실적 제약이 크다. 이에 따라, 해운에서 실제 적용 가능성이 높은 FAME의 기술적·운영적 고려 사항을 중심으로 논의를 이어가고자 한다.

기술적 고려 사항: 안전하고 효율적인 바이오 연료 사용을 위한 지침

바이오 연료를 선박에 안전하고 효율적으로 사용하기 위해서는 연료 특성으로 인해 발생할 수 있는 잠재적 위험 요소를 철저히 검토하고 관리해야 한다. 기존 화석 연료와는 다른 바이오 연료의 화학적 특성이 엔진과 연료 시스템에 미치는 영향을 이해하는 것이 중요하다.

바이오 연료, 특히 FAME은 기존 화석 연료와 달리 산소 원자를 포함하고 있어 여러 가지 기술적 위험을 내포하고 있다. 이러한 위험을 사전에 파악하고 적절한 예방 조치를 취하는 것이 안정적인 선박 운영의 핵심이다.



바이오 연료의 주요 기술적/운영적 위험 요소와 관리 방안

1. 산화 안정성 저하 및 장기 저장 문제

FAME은 화학적 구조상 산화되기 쉽고, 이로 인해 연료가 열화되어 슬러지나 산성 물질을 형성할 수 있다. 이는 연료 품질 저하뿐 아니라 엔진 부품의 부식과 필터 막힘을 유발할 수 있다.

- ▶ 관리 방안 | 바이오 연료는 장기 저장보다는 가급적 3개월 이내에 사용하는 것이 권장된다. 장기간 저장 시에는 주기적인 품질 분석을 실시하고 필요에 따라 항산화제(Antioxidant)를 첨가하여 산화 안정성을 강화해야 한다.
- 일본 NYK 그룹은 최근 'Bioxiguard'라는 바이오디젤용 항산화제를 상용화하며, 이러한 문제를 해결하려는 해운사의 노력을 잘 보여준다.

2. 재질 적합성(Material Compatibility)

바이오 연료는 연료 시스템 내의 고무, 플라스틱, 특정 금속 재질과 반응하여 손상을 일으킬 수 있다. 이는 연료 누설, 부품 파손 등 안전 문제로 이어질 수 있다.

- ▶ 관리 방안 | 연료 시스템에 사용된 재질이 바이오 연료와 호환되는지 사전에 확인하고, 불소고무(Fluorocarbon, Viton), 테플론(Teflon) 등과 같은 바이오 연료에 강한 재질로 교체해야 한다. 특히 니트릴 고무(Nitrile Rubber)와 네오프렌(Neoprene)은 팽윤(Swelling) 또는 약화될 위험이 있어 사용을 피해야 한다.

3. 특수 성분으로 인한 잠재적 위험

바이오 연료는 원료(Feedstock)나 생산 공정에 따라 예상치 못한 화학 성분을 포함할 수 있다. 특히 CNSL(Cashew Nut Shell Liquid)과 같은 성분은 매우 반응성이 높아 연료 시스템에 심각한 손상을 초래할 수 있다. CNSL에 포함된 카돌(Cardol)과 아나카르딕산(Anacardic acid)은 금속 부품의 부식과 마모를 가속화하며, 고분자를 형성하여 필터 막힘을 유발할 수 있다. 이외에도 다음과 같은 성분들이 보고된 바 있으며, 이에 대한 주의가 필요하다.

- 에스토니아 셰일 오일(Estonian Shale Oil): 연료 운전 안정성 저하 가능성
- 페놀계 화합물(Phenolic Compounds): 연료 안정성 문제 유발
- 바이오디젤 잔류물(Biodiesel Residues): 자유 지방산(FFA), 모노/디/트리글리세라이드가 잔류해 산화 및 열화를 촉진
- 로진산(Rosin Acids): 산화 조건에서 반응성이 매우 높아 안정성을 해칠 수 있음

- ▶ 관리 방안 | 연료 공급자에게 원료 및 생산 공정에 대한 완전한 정보 공개(Full Disclosure)를 요구하고, 병커링 전 품질 증명서(CoQ)를 철저히 확인해야 한다. 필요 시 GCMS(Gas Chromatography-Mass Spectrometry)와 같은 정밀 분석을 통해 유해 성분을 사전에 검출하는 것이 필수적이다.

4. 윤활유 오염 및 성능 저하

4행정 엔진에서 FAME 기반 연료를 사용할 경우, 연료가 연소 과정에서 윤활유로 유입되어 윤활유의 점도를 떨어뜨릴 수 있다. 이는 윤활 성능 저하로 이어져 엔진 마모를 가속화한다.

바이오 연료는 저장 및 취급 과정뿐만 아니라 실제 선박 운항 중에도 기존 연료와는 다른 유지보수 관리를 요구한다.

- ▶ 관리 방안 | FTIR(적외선 분광법) 분석을 통해 윤활유 내 FAME 농도를 정기적으로 모니터링해야 한다. 또한 고정된 시간 기준이 아닌 오염도 및 점도 변화를 기준으로 엔진 오일 교환 주기를 조정하는 유연한 전략이 필요하다.

5. 슬러지 증가 및 필터 막힘

바이오 연료의 불안정성과 수분 흡착성으로 인해 연료 탱크와 청정기(Purifier)에서 슬러지가 더 자주

발생할 수 있다. 이는 필터 막힘 빈도를 증가시켜 운항에 지장을 줄 수 있다.

- ▶ 관리 방안 | 정기적인 탱크 내 배수(Drainage)를 실시하여 수분 축적을 방지하고, 청정기의 슬러지 배출 주기를 조정하거나 중력판(Gravity Disk) 설정을 바이오 연료의 특성에 맞게 조정해야 한다. 초기 사용 단계에서는 필터 막힘에 대비하여 예비품을 충분히 확보하는 것이 중요하다.

6. 엔진 성능 저하 가능성

FAME의 발열량은 기존 화석 연료보다 낮아 선박 운항 시 연료 소비량이 증가하거나 고부하에서 엔진 출력이 저하될 수 있다. 특히 기계식 제어(MC)

엔진은 전자식 제어(ME) 엔진에 비해 영향을 더 크게 받을 수 있다.

- ▶ 관리 방안 | 연료의 발열량을 사전에 확인하고 필요 시 점화 타이밍 등 엔진 최적화 조정을 통해 성능 저하를 최소화해야 한다. 또한 윤활성 개선 첨가제를 사용하여 기계적 마모를 방지하는 것도 고려할 수 있다.

7. 추가 품질 시험 및 위험성 평가의 필요성

바이오 연료(FAME)는 기존 석유계 연료와 달리 산소를 포함해 산화·부식·미생물 성장 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 국제 기준(ISO 8217)만

으로는 안정성이 충분하지 않으며, 아래와 같은 추가 시험이 권장된다.

시험유형 (Test Type)	증류유 + FAME	잔사유 + FAME	비고
미생물 성장 (IP 385)	✓		미생물 성장 위험성 평가
구리 부식 (ASTM D130)	✓	✓	연료의 부식성 영향 측정 (특히 FAME 함량이 높은 경우)
강 부식 (ASTM D665)	✓	✓	금속 부식 가능성 검증
화학 성분 분석 (GCMS)	✓	✓	메탄올, 지방산, 글리세린 등 검출
연소 특성 시험 (IP 541)		✓	착화성/연소 품질 평가
연료 호환성시험 (ASTM D4740)		✓	연료 전환 시 호환성 확인

이러한 기술적 고려 사항은 바이오 연료가 단순한 ‘친환경 연료’가 아니라, 체계적 관리와 예방적 유지보수가 병행되어야 안정적 운영이 가능하다는 점을 보여준다. 이에 KR은 위험성 평가를 권장하며,

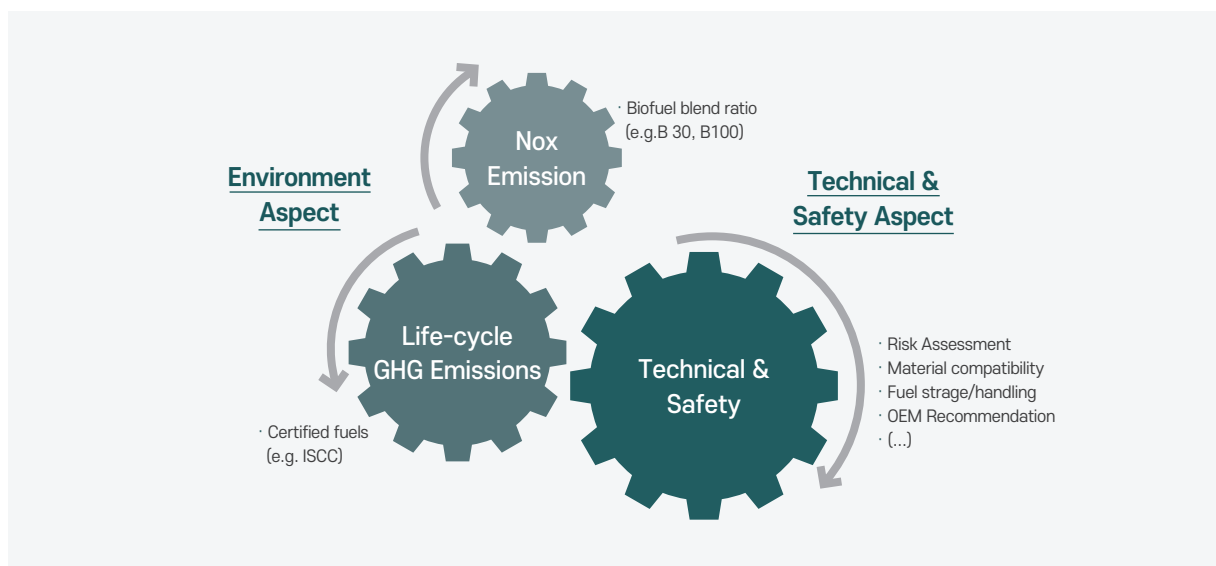
다음 표는 평가 시 고려해야 할 핵심 요소를 정리한 것이다. 이러한 위험성을 선사와 선원이 사전에 충분히 이해하고 대비하는 것이 중요하다.

	FAME / FAME + Distillate Fuel	FAME + Residual Fuel
기계 장비 관련 이슈	제조사 권장 사항 고려	
	재질 적합성 문제 (예: 연료 배관계 고무 부품 팽윤)	
	점도·밀도 변화 및 발열량 저하	
슬러지 및 연료 열화 관련 이슈	-	아스팔텐 슬러지 생성
	미생물성 슬러지 형성	
	바이오 연료의 응고 (Solidification)	
	소재 (Cleaning) 효과로 인한 슬러지 발생	
	산화 중합 (연료가 산소와 반응하여 열화되고 슬러지를 형성하는 현상)	

안전한 바이오 연료 전환을 위한 대응: KR notation ‘SusBio’

국제 해운에서 바이오 연료의 활용은 이제 선택이 아닌 필수로 다가오고 있다. 그러나 연료 특성의 다양성과 규제적 불확실성은 여전히 선사와 조선소 모두에게 중요한 도전 과제로 남아 있다. 따라서 단순한 사용 가능 여부를 넘어, 안전성·환경성·운영성을 종합적으로 고려할 수 있는 명확한 기준이 절실하다.

이러한 요구에 부응하여 KR은 ‘SusBio(Sustainable Biofuel)’ 선급 부호를 개발했다. SusBio는 바이오 연료의 전과정에 걸친 온실가스 배출 검증, 지속 가능성 인증, NOx 규제 대응, 재질 적합성, 연료 저장·취급 요건, 위험성 평가를 포괄하는 체계적인 기준을 제시한다.



더 나아가 KR은 조선소와의 협력을 통해 바이오 연료에 최적화된 표준 설계 사양(Standard Design Specification)을 마련하고 있다. 이를 통해 KR은 선박 건조 단계부터 바이오 연료 적용 가능성을 반영하여, 향후 연료 전환 과정에서 발생할 수 있는 추가 비용과 위험을 선제적으로 줄이고자 한다. 또한, 연료유 분석 전문 기업인 ‘VISWA Group’과의 기술 교류를 강화하여 고객에게 최신 정보를 적시에 제공할 계획이다.

궁극적으로 바이오 연료의 성공적인 도입은 어느 한 주체의 힘만으로는 불가능하다. 선급의 안전 기준, 조선소의 표준화 노력, 연료 공급자의 품질 보장, 선사의 운영 경험이 하나로 모일 때 비로소 지속 가능한 활용이 가능하다. 

KR Decarbonization Magazine

Interview

에너지 효율 개선에서 대체 연료, 디지털 최적화까지
Danaos의 탈탄소화 항로

Evi Politi, Danaos Shipping R&D 디렉터





에너지 효율 개선에서 대체 연료, 디지털 최적화까지 Danaos의 탈탄소화 항로

Evi Politi Danaos Shipping R&D 디렉터



‘Danaos Shipping’의 R&D 디렉터 Evi Politi는 ‘KR Decarbonization Magazine’과의 인터뷰에서 변화하는 해운 산업의 환경 규제, 친환경 대체 연료 도입, 해운 부문의 디지털 전환, 승선 직원 교육 등 다나오스의 대응 전략을 소개했습니다. 이번 인터뷰에서는 다나오스가 해운 산업의 지속가능성과 혁신을 위해 어떤 노력을 기울이고 있는지 확인할 수 있습니다.

다나오스는 EU ETS, FuelEU Maritime, IMO의 NZF(Net-Zero Framework)에 어떻게 대응하고 있으신가요?

해사업계는 현재 온실가스 감축을 위한 FuelEU Maritime, EU ETS, IMO의 NZF 등 새로운 사항들이 과제로 다가오며 급격한 변화를 겪고 있습니다. 다나오스의 경우에도 정기적으로 유럽 내 항구에 정박하고 있는 선박 약 19척이 EU ETS의 적용을 받고 있습니다. EU ETS에 적용 받는 선박이 고객에게 미치는 경제적 효과는 2025년 기준 약 1천 2백만 달러에 달할 것으로 예상됩니다.

FuelEU Maritime의 경우 2025년 규정 준수 비용은 EU ETS에 따라 발생하는 비용의 약 30%로 추정됩니다. 하지만 2030년부터는 5년 단위로 관련 비용이 기하급수적으로 증가하여, 해운회사나 용선사 모두에게 장기적으로 상당한 재정 부담이 될 것으로 보입니다. 다행히 아직 시간적 여유가 있는 현재 단계에서는 해당 규정이 선박 운영 및 상업적 계약에 직접적인 영향을 미치지 않지만, 다나오스의 상업적 전략 수립을 위해서는 FuelEU Maritime에 대응하는 대책을 마련해야 합니다.

IMO NZF에 따라 2030년까지 초저유황중유(VLSFO) 톤당 약 200달러의 부과금이 도입될 예정이며, 2035년에는 톤당 500달러 수준까지 상승할 것으로 보입니다. 이는 분명 상당한 추가 비용이지만, 과거 2008년 경제 위기 당시의 유가 상승률과 비교하면 감당할 수 있는 수준입니다. 우리는 2035년까지 해운회사들이 IMO의 NZF 관련 비용을 감당할 수 있을 것으로 생각합니다.

이러한 규제로 인한 재정적 부담이 최종 사용자에게 전가될 것으로 전망하시나요?

그렇습니다. 저희는 결국 이 비용이 최종 사용자에게 전가될 것이라고 생각합니다. EU ETS 정책에 따라 고객사들은 이러한 비용을 부담해야 하며, FuelEU Maritime에도 이와 동일한 오염자 부담 원칙(Polluter Pays Principle)이 적용됩니다. 저희는 현재 FuelEU Maritime의 조항과 관련하여 고객들과 계약 조율을 마무리하고 있습니다. 또한, 이후 IMO의 NZF 규제에도 동일한 원칙이 적용될 예정입니다.

바이오 연료, LNG, 메탄올, 암모니아 같은 대체 연료로의 전환을 위한 다나오스의 전략은 무엇인가요?

다나오스는 설계 단계부터 메탄올 레디(Methanol Ready)와 암모니아 레디(Ammonia Ready)의 신조 선박 개발에 투자해 왔습니다. 여러 신조 선박에서 친환경 연료가 상업적으로 공급되는 즉시 사용될 수 있도록 거주 구역 하부에 메탄올 탱크를 설치했습니다. 이러한 접근 방식은 다나오스의 장기 탄소 전환 계획 보고서에 자세히 설명되어 있습니다.

현재 다나오스의 고객들은 친환경 연료 전환에 따른 추가 비용을 부담하지 않고 있습니다. 따라서 우리는 그린 메탄올의 상용화 시점과 고객들의 재정적 지원이 확보되는 시기에 맞춰 선박 개조가 가능하도록 메탄올 레디(Methanol Ready) 방식을 채택했습니다. 다나오스는 엑슨모빌의 자문을 바탕으로 그린 메탄올 및 블루 메탄올 사용을 위한 선박 개조 준비를 완료했으며, 이를 통해 탄소 배출량을 대폭 감축할 수 있을 것으로 전망됩니다.

기술 발전 속도를 감안할 때, 아직 상업적 공급이 원활하지 않은 연료에 대응하기 위해 조기에 장비를 도입하는 것은 장비 노후화와 투자 효율성 측면에서 바람직하지 않습니다. 다나오스는 이미 고객사가 공급한 바이오 연료(B30)를 문제없이 사용한 경험이 있으며, 바이오 연료에 대해 긍정적으로 평가하고 있습니다. 다만, 바이오 연료는 근본적인 탈탄소화 대책이라기보다는 중기적 해결책으로 인식하고 있습니다.

다나오스의 선박에 적용하거나 테스트 중인 에너지 효율 관련 기술로는 어떤 것들이 있을까요?

다나오스는 2013년부터 38가지의 에너지 효율 개선 조치를 검토해 왔으며 이 가운데 다수를 보유 선대 전반에 적용했습니다. 주요 조치에는 도료 적용, 프로펠러 개조, 추진 보조 장치 설치, 엔진 튜닝 등이 포함되며, 추가적으로 엔진실 내 소규모 조정을 통한 효율 개선도 추진하였습니다.

다나오스는 공기 윤활(Air Lubrication) 기술도 검토했으나, 효과가 제한적임을 확인하였습니다. 특히 컨테이너선의 경우 성능상의 개선 폭이 더욱 제한적이었습니다. 이는 선체 선수 및 선미 부위가 마찰 저항에 크게 영향을 미치지만, 선박의 운동 특성과 해상 조건으로 인해 안정적인 공기층을 유지하기 어렵기 때문입니다. 이러한 이유로 성능상의 이점은 제한적이며, 투자 타당성이 부족하다고 판단하여 해당 조치는 채택되지 않았습니다.

다나오스가 과거에 진행했던 구상선수 최적화 작업은 우리가 최초로 도입한 에너지 효율 개선 조치 중 하나로 매우 높은 절감 효과를 거두었습니다. 이후 선대 전반에 걸친 폭넓은 개조(Retrofit)와 다양한 에너지 절감 조치를 시행한 결과, 점진적 개선을 통해 달성할 수 있는 한계점에 도달했다고 판단되었습니다. 이에 따라 다나오스는 다음 단계로 보다 혁신적인 접근, 즉 대체 연료의 도입을 고려하게 되었습니다.

다나오스는 우선적으로 그린 메탄올을 검토하고 있으며, 이어 암모니아 활용 가능성을 검토하고 있습니다. 다만 암모니아는 높은 독성으로 인해 중대한 안전상의 위험 요소를 내포하고 있다는 점에서 주의가 필요합니다.

또한 다나오스는 탈탄소화를 위한 중기적 해결책으로 탄소 포집(Carbon Capture) 시스템을 적극적으로 검토하고 있습니다. 현재 자체적으로 시스템을 개발하고 있으며, 관련 승인 절차가 진행 중입니다.

탄소세 인상이 에너지 전환을 가속화할 수 있다고 생각하십니까?

네, 그렇습니다. 탄소세 인상은 업계 이해관계자들로 하여금 필수적인 투자를 단행하고 탄소 전환에 필요한 자금을 확보하도록 유도할 것으로 예상됩니다. 이러한 조치는 에너지 전환 과정을 가속화하는 요인으로 작용할 것입니다

다나오스의 디지털 전환에 대한 노력을 말씀해 주시겠어요?

다나오스는 운영 프로파일 분석, 배출 모니터링 및 예측을 위해 독자 알고리즘을 활용한 정교한 데이터 분석 플랫폼을 개발했습니다. 또한 내부 탄소 비용 책정 도구를 도입하여 배출에 따른 재정적 영향을 평가하고, 이를 기반으로 데이터 중심의 의사 결정을 지원하고 있습니다.

다나오스의 디지털 전환 계획은 환경 분석에 국한되지 않습니다. 기술 운영, 안전 관리, 상업 활동, 회계 등 회사 전 부문 프로세스를 전면적으로 디지털화하는 과정을 진행중이며, 2027년까지 이를 완료하여 전 부서의 효율성과 투명성을 제고하는 것을 목표로 하고 있습니다.

또한, 'Weather Routing'과 관련하여 다나오스는 주로 용선사의 방침을 준수하고 있습니다. 다만, 자회사를 통해 'Weather Routing 소프트웨어'를 자체 개발하여 일부 선박에 적용한 사례도 있습니다.

미국 무역대표부(USTR)가 부과한 수수료와 지정학적 상황들은 다나오스에 어떤 영향을 주고 있나요?

다나오스가 USTR 수수료 부과로부터 받는 상업적 영향은 간접적인 수준입니다. 보유 선박은 모두 용선 계약에 따라 운영되므로, 해당 수수료는 용선사가 부담하도록 되어 있습니다. 미국 컨테이너 무역은 전 세계 컨테이너 물동량의 약 20%를 차지하며, 주로 6,000TEU에서 13,000TEU급 선박들이 투입됩니다. 정기 선사들은 필요시 비중국산 선박을 활용하여 미국 시장에서 서비스를 제공할 수 있습니다.

"이런 요금들로 인한 추가 비용은 공급망을 통해 최종 소비자에게 전가될 것으로 예상합니다. 한편, 드라이 벌크 부문에서 다나오스는 미국 관련 무역과 무관한 케이프 사이즈 선박을 독점적으로 보유·운영하기 때문에 직접적인 영향은 제한적입니다."



미국 기반 조선업과 ‘미국 조선업을 다시 위대하게(MASGA)’ 이니셔티브의 잠재적 출현에 대한 다나오스의 생각은 어떠신가요?

신조 입찰 과정에서 핵심 요소는 용선사의 선호도와 선박 가격입니다. 용선사가 특정 선박의 크기를 요구하거나, 한국·중국·일본 등 특정 조선소를 선호할 수도 있습니다. 궁극적으로 선박 입찰은 고객사의 선호도와 가격 경쟁력이 최종 결정 요인으로 작용합니다. 미국 조선소가 경쟁력 있는 가격을 제시할 경우 고려해 볼 수 있지만, 현 시점에서 미국 조선소가 한국이나 중국의 조선소와 동등하게 경쟁할 수 있을지는 불확실합니다.

소형 모듈 원자로에 대한 다나오스의 입장은 무엇인가요?

다나오스는 소형 모듈 원자로(SMR)를 저탄소화의 잠재적 대안으로 인식하고 있으나, 현 단계에서의 적용은 시기상조라고 판단하고 있습니다. 국제 해상 원자력 규제 체계는 복잡하고 발전 수준도 미비하여, 법적, 안전성, 책임 측면에서도 해결해야 할 과제가 많습니다. 또한 방사성 폐기물 관리에 대한 사회적 반대와 우려가 강해 단기간 내 상용화 가능성은 낮습니다. 다나오스는 장기적으로 가능성을 열어두고 있으나, 현 시점에서는 해당 솔루션을 채택하기 어렵다고 판단됩니다.

다나오스는 새로운 기술이나 연료에 대해 선원들에게 어떻게 교육하고 있습니까?

다나오스는 새로운 기술과 연료 도입을 지원하기 위해 선원 교육을 두 가지 주요 채널을 통해 운영하고 있습니다. 첫째, 승선 전 사전 적응 교육을 통해 규제 영향, 에너지 효율 개선, 디지털 최적화 도구 활용, 국제 정책 동향 등을 다루고 있습니다. 둘째, 전용 온라인 교육 플랫폼을 구축하여 시장 전반의 교육 과정과 다나오스 맞춤형 과정을 제공하고 있습니다. 주요 교육 내용에는 새로운 연료 유형 소개, IMO 온실가스 감축 조치, 배기가스 스크러버의 안전한 초기 운용 등이 포함됩니다.

또한 친환경 선박 개조(Retrofit)를 결정할 경우, 선원들은 해당 연료와 기술에 관한 맞춤형 교육을 추가적으로 이수하게 됩니다.

"다나오스는 새로운 연료와 기술을 선상에 안전하고 성공적으로 적용하기 위해 포괄적 교육이 필수적이라는 점에서 KR과 동일한 인식을 공유하고 있으며, 탈탄소화 과정에서 인적 요소의 중요성을 강조하고 있습니다."

다나오스가 KR과 같은 선급으로부터 받고 싶은 지원이나 협력이 있으시다면?

다나오스는 선급을 탈탄소화 과정의 전략적 파트너로 인식하고 있으며, KR과의 협력에 기대를 가지고 있습니다. 구체적으로는 신조 단계에서의 기술 자문과 대체 연료 레디 설계 승인 지원을 비롯해, 탄소중립 기술 및 연료 수명 주기 분석과 관련한 업계 공동 프로젝트에 협력을 희망하고 있습니다. 또한 선박의 디지털화 및 스마트 선박 기술 개발과 관련하여 기준을 충족하는 선박에 대한 디지털 노테이션에도 관심을 가지고 있습니다.

다나오스는 교육 분야에서도 KR과 협업한 경험을 가지고 있습니다. 예를 들어, 최근 KRII 선박 친숙화 교육 훈련 플랫폼인 'KR Real-360'의 가상현실 이미지를 제작하기 위해 다나오스 선박을 방문한 사례가 있습니다. 다나오스는 이와 같은 이니셔티브를 환영하며, 이는 양사 간의 견고하고 건설적인 파트너십을 잘 보여주는 사례로 평가됩니다.

한국 조선소들과의 협력 계획이나 기대하는 점이 있으신가요?

다나오스는 한국 조선소들과 장기적인 협력관계를 맺어왔으며, 최근 KR과 협력하여 대한조선에서 건조한 선박을 비롯해 많은 프로젝트를 진행했습니다. 다나오스는 재정적 요건이 충족된다면, 한국에서의 조선 활동을 지속할 의향이 있습니다.

최근 몇 년간 한국 조선소들은 인력 문제에 직면해 왔고, 동시에 중국 조선소가 빠르게 성장하면서 경쟁이 한층 치열해졌습니다. 이에 따라 신조 발주에서 비용은 점점 더 중요한 요소가 되고 있습니다. 그러나 단순히 비용뿐만 아니라 품질, 기술력, 신뢰성, 그리고 각 프로젝트의 특수성 등 다양한 요소를 종합적으로 고려할 필요가 있습니다. 이 과정에서 한국은 여전히 고부가가치 선박과 첨단 프로젝트에 있어 매우 중요한 협력 파트너로 자리매김하고 있습니다. 

[편집자 주] 본 인터뷰는 NZF 채택이 연기된 MEPC ES 회의 이전에 진행되었습니다.

KR Decarbonization Magazine

Regulatory Updates

| IACS 최신 동향 |





| IACS 최신 동향 |

IACS 동향

IACS는 제10차 화물·컨테이너 운송 전문위원회(CCC 10) 회의에서 IMO 암모니아 연료 추진 선박 임시 안전 지침의 개발이 완료된 점에 주목하였다.

해당 초안이 제109차 해사안전위원회(MSC 109) 회의에서 승인될 것으로 예상하여, 초안과 차이나는 IACS 통일규칙(UR) H1을 2025년 1월부로 철회하였다. 현재 IACS는 IMO 암모니아 연료 추진 선박 임시 안전지침을 보완하기 위해 다양한 UR과 UI(통일 해석) 개발을 진행하고 있다.

또한 IACS는 암모니아 연료 추진 선박 임시 안전지침을 고려하여, 위험도 평가를 통해 암모니아 수용액을 SCR(선택적 촉매환원) 환원제로 사용할 수 있도록 UR M77을 개정하였다. 이를 통해 암모니아 연료 선박에서 발생하는 암모니아수를 환원제로 활용할 수 있는 근거가 마련되었다.

이 외에도 IACS는 메탄올, 수소, 배터리, 탄소포집, 가스 확산 분석 등 다양한 대체 연료 및 기술을 포괄하는 지침을 마련하고 있다. ●

KR Decarbonization Magazine

Inside KR

HD현대암모니아연료 선박안전 솔루션 'Hi-CLEARs' 개념 승인

HD현대개발 LNG 증발가스 처리설비에 개념승인 수여

HD현대미포·HD한국조선해양 개발 ECA 기반 구조 건전성 평가 적용
Type-C 탱크 설계에 개념승인 수여

KR·HD현대삼호, 암모니아 추진선 연료 배관 안전 기술 공동 개발 착수

삼성중공업 개발 15MW급 부유식 풍력발전 하부구조물 'SnapWind Float'에 개념승인

한화엔진 개발 암모니아 연료공급시스템 개념승인 수여



INSIDE KR

Gastech 2025 Highlights

KR은 2025년 9월 9일부터 12일까지 이탈리아 밀라노에서 개최된 세계 최대 에너지 전시회 및 컨퍼런스인 'Gastech 2025'에 참가했다. Gastech 2025에서 KR은 조선소, 기자재 업체, 기국과 개념 승인 및 공동 협약 등 다수의 협력 성과를 냈다.

HD현대 암모니아 연료 선박 안전 솔루션 'Hi-CLEARs' 개념 승인



KR은 HD한국조선해양, HD현대중공업과 공동 개발한 암모니아 연료 추진 선박 안전 솔루션 'Hi-CLEARs'에 개념 승인을 수여했다.

이번 AIP는 KR과 HD한국조선해양, HD현대중공업이 함께 진행한 공동개발 프로젝트의 결실로, 암모니아 추진선 상용화를 가로막던 안전과 환경 규제 장벽을 해소하고 국제 기술 기준을 마련하기 위해 추진됐다.

새롭게 개발된 Hi-CLEARs는 운항 중 발생할 수 있는 암모니아 누출 가스를 신속히 회수해 암모니아수 형태로 전환하고, 이를 선택적 촉매 환원(SCR) 장치에 환원제로 공급하여 처리하는 친환경 기술이다.

KR은 누출된 암모니아를 완벽하게 제거하면서도 대기와 해양으로의 배출 역시 '제로(Zero Discharge)' 수준으로 실현할 수 있는 혁신적인 솔루션으로 평가받고 있다고 설명했다.

특히 이번 공동개발 과정에서 KR은 암모니아수와 암모니아 자체를 SCR 환원제로 활용할 수 있도록 국제선급연합의 선박용 SCR(Selective Catalytic Reduction) 규정(M77) 개정 작업을 주도했다. 기존 규정은 암모니아의 SCR 적용을 제한했으나, 위험도 평가를 기반으로 유연한 적용이 허용되면서 Hi-CLEARs 상용화의 제도적 기반이 마련됐다. 



HD현대 개발 LNG 증발가스 처리설비에 개념승인 수여

KR은 HD한국조선해양이 제안하고, HD현대중공업과 동화뉴텍이 공동 개발한 LNG 증발 가스(BOG, Boil Off Gas) 처리 설비에 대해 라이베리아 기국과 함께 개념 승인을 수여했다.

이번에 개발된 설비는 접안 기간 중 선박은 물론 부두 안벽 어디서든 설치·운용할 수 있도록 설계됐으며, LNG 추진선의 연료탱크 내에서 자연 기화로 발생하는 증발 가스를 시간당 최대 0.5톤까지 처리해 도시가스로 전환함으로써 육상 에너지로 활용할 수 있다.

이를 통해 조선소는 건조 중인 선박에서 발생하는 LNG 증발 가스를 회수해 온실가스 배출과 연료 손실을 줄일 수 있고, 선주는 장기 접안 시나 육상 전원 공급 설비(AMP, Alternative Marine Power) 사용이 요구되는 항만에서 잉여 가스를 안전하게 처리함으로써 강화되는 환경 규제를 충족할 수 있다.

이번 공동개발 프로젝트는 HD한국조선해양의 개념 설계를 토대로 조선소, 기자재 업체, 선급, 기국 간 긴밀한 협력을 통해 완성되었다. 특히 2025년 6월에는 건조 중인 8,000TEU급 LNG 이중 연료 컨테이너선에 해당 시스템을 적용한 실증 시험을 성공적으로 마치며 성능을 입증했다. 



HD현대미포· HD한국조선해양 개발 ECA 기반 구조 건전성 평가 적용 Type-C 탱크 설계에 개념승인 수여

KR은 HD현대미포 및 HD한국조선해양이 공동 개발한 공학적 결함 평가(ECA, Engineering Critical Assessment) 기반 구조 건전성 평가를 통한 IMO Type-C 탱크 설계에 대해 개념 승인을 수여했다.

세 기관은 IMO Type-C 독립형 탱크의 설계 초기 단계부터 ECA 기반 구조 건전성 평가 기법을 도입하기 위한 절차를 개발하기로 합의했다. 해당 기법은 금속 구조물 내 발생 가능한 균열의 성장을 예측할 수 있는 기술로, 실제 운항 조건에서 탱크 수명 전반에 걸친 구조 안전성을 공학적으로 분석할 수 있도록 한다.

이번 프로젝트에서 HD현대미포는 탱크의 구조 강도 및 피로 강도 평가를, HD한국조선해양은 설계 및 구조 건전성 평가를 담당했으며, KR은 선급 규칙 및 국제 규정에 따른 설계 적합성을 종합 검토해 개념 승인을 부여했다. 



KR·HD현대삼호, 암모니아 추진선 연료 배관 안전 기술 공동 개발 착수

KR은 HD현대삼호와 암모니아 연료추진 선박의 이중관 환형 공간 내 청수 순환시스템 공동 개발을 위한 업무협약을 체결했다. 이번 협력은 차세대 친환경 연료로 주목받는 암모니아 추진선의 안전성 강화를 위해 추진됐다.

암모니아 연료 배관은 두 겹의 이중관으로 설계되며, 안쪽과 바깥쪽 관 사이에는 고리 모양의 빈 공간이 존재한다. 이번 공동 개발 프로젝트는 이 공간에 청수를 순환시켜 연료 공급 배관의 안전성을 높이고, 운항 중 발생할 수 있는 암모니아의 대기 중 누출 위험을 최소화하는 것을 목표로 한다. 개발 과정에서 HD현대삼호는 설계와 제작을 담당하고, KR은 시스템의 안정성을 검증한다.

공동 개발이 완료되면 HD현대삼호는 해당 시스템을 자사 암모니아 추진선 설계에 적용해 상용화를 추진하고, KR은 국제해사기구에 안전 기준 제정 필요성을 제안하며 국제 표준화를 선도할 계획이다. ● KR



삼성중공업 개발 15MW급 부유식 풍력발전 하부구조물 ‘SnapWind Float’에 개념승인

KR은 삼성중공업이 개발한 15MW급 부유식 풍력발전 하부구조물 ‘SnapWind Float’에 개념 승인을 수여했다.

이번 개발 프로젝트에서 삼성중공업은 다수의 해양 프로젝트 경험을 반영하여 최대 15MW급 대형 해상 풍력 터빈을 적용할 수 있는 부유식 풍력발전 하부구조물 ‘SnapWind Float’을 설계했다. 이 제품은 경량화와 모듈화 설계를 적용해 제작과 설치가 용이하며, 최소 3개의 계류선으로 해저에 고정되어 안정성을 확보한다. 또한, 다소 기울어진 상태에서도 충분한 복원력을 유지하도록 설계되었으며, 다양한 용량의 풍력터빈을 신속하게 호환할 수 있어 높은 범용성을 가진 것이 특징이다.

KR은 ‘SnapWind Float’의 안정성, 구조 강도, 계류 시스템 등을 국제 규정 및 선급 규칙에 따라 종합적으로 검토하였다. 



한화엔진 개발 암모니아 연료공급시스템 개념승인 수여

KR은 한화엔진이 자체 기술로 개발한 93K VLAC 암모니아 연료 공급 시스템(AFSS, Ammonia Fuel Supply System)에 대해 개념 승인을 수여했다.

암모니아 연료 공급 시스템은 암모니아 추진 선박의 엔진에 요구되는 온도·압력·유량을 맞춰 연료를 안정적으로 공급하는 핵심 장치로, 암모니아 추진 선박에 필수적으로 장착되어야 하는 시스템이다.

이번에 승인받은 한화엔진의 AFSS는 부품 배치를 최적화하여 운용 효율성을 높였으며, 시스템 내 잔존 암모니아를 최소화하는 퍼징(Purging) 기술을 적용하여 유지보수 과정에서 작업자의 유해 물질 노출 위험을 줄였다.

KR은 선급 규칙 및 국제 규정에 따른 설계 적합성을 종합 검토한 뒤, 해당 시스템에 개념 승인을 부여했다. 



In line with our enduring commitment to protecting the natural environment, KR provides comprehensive survey and certification services for renewable energy sectors, including wind and ocean power.

At the same time, KR continues to advance green ship technologies aimed at reducing emissions and optimizing fuel efficiency — helping our customers achieve their environmental goals through practical, sustainable innovation.

KR Decarbonization Magazine

Vol. 11

November 2025

Korean Register

46762 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36

070 8799 8862

kgst@krs.co.kr

www.krs.co.kr

©2025 Korean Register, All rights reserved.



KR Decarbonization Portal



GHG Data Management System
KR GEARS