



국립한국해양대학교
NATIONAL
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

깨끗한 바다를 향한 새로운 항해, 친환경 선박과 해운의 미래

기후변화에서 미래 선박연료와 환경규제까지

국립한국해양대학교

박 치 병 교수





목 차

1. 해운과 기후변화
2. 친환경 해운과 환경규제
3. 미래 친환경 해운





CHAPTER I

해운과 기후변화

Shipping and Climate Change



한국해양대학교
NATIONAL
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

우리가 체감하는 환경의 변화

2026년 여름



26.8°C

2026년 7월 전국 평균
기온 · 역대 3위



23.4°C

전국 평균 최저기
온 · 역대 1위



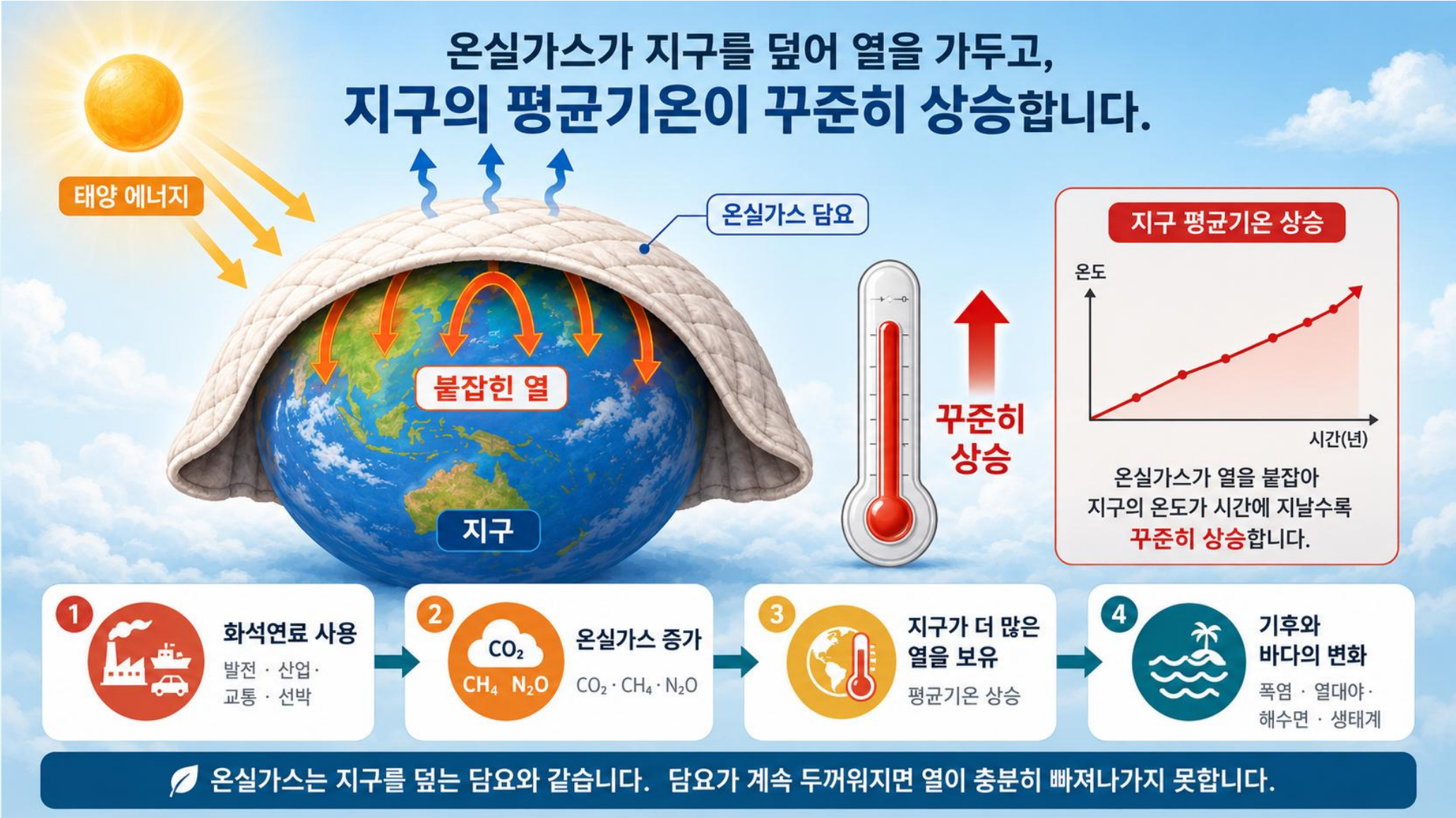
9.7일

전국 평균 열대야
일수 · 역대 최다



한 번의 더위는 날씨이지만, 높은 밤 기온과 열대야가 반복되는 흐름은 기후의 변화와 연결됩니다.

기후변화와 온실가스



우리는 배를 타지 않아도 매일 해운을 이용한다

80%+ 세계 상품무역 물동량이 바다로 이동

일상 속 다양한 상품, 바다를 통해 세계가 연결됩니다



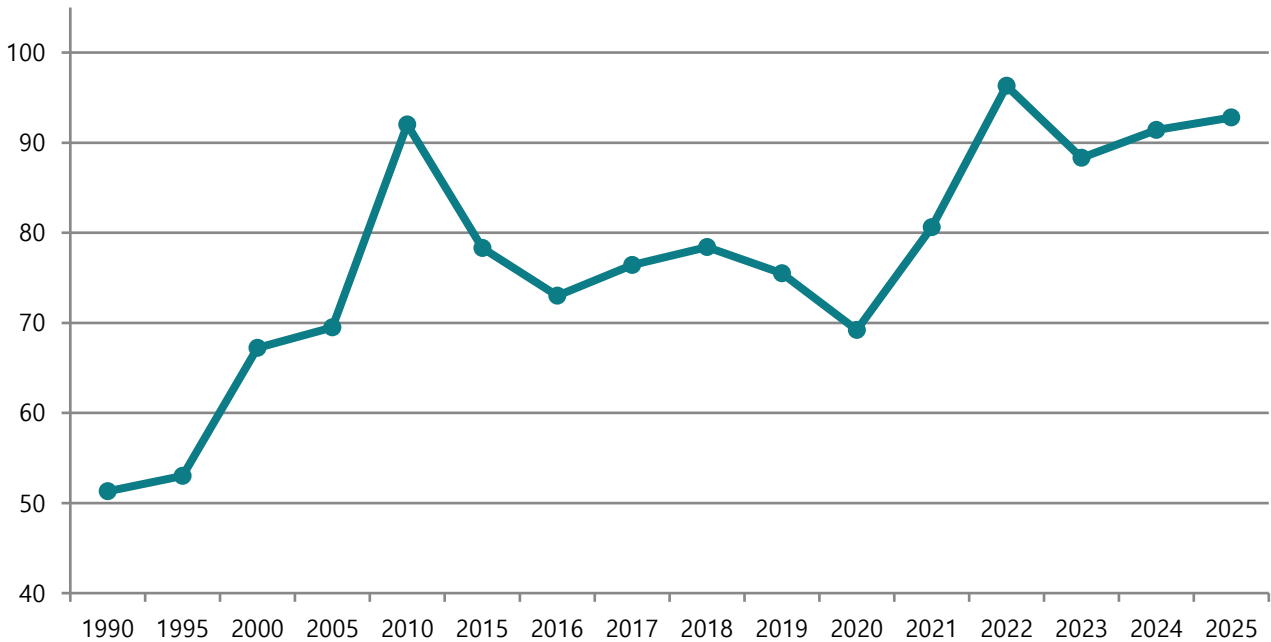
바다를 통해 생산자와 소비자를 연결하고,



우리의 일상을 풍요롭게 만드는 **해운!**

대한민국 산업과 해운은 뗄 수 없다

GDP 대비 수출입 비율



1990년 51.3%

2025년 92.8%

수출주도형 성장 → 세계시장과 밀접한 경제구조



99.7%

수출입 물동량 중 해상운송 비중
(2023년 · 중량 기준,
9억 4,524만 톤 중 9억 4,255만 톤)



15.71억 톤

2025년 전국 무역항 총 물동량

13.41억 톤

2025년 총 물동량 중 수출입화물



제조업 · 에너지안보 · 수출경쟁력
을 연결하는 국가경제의 대동맥

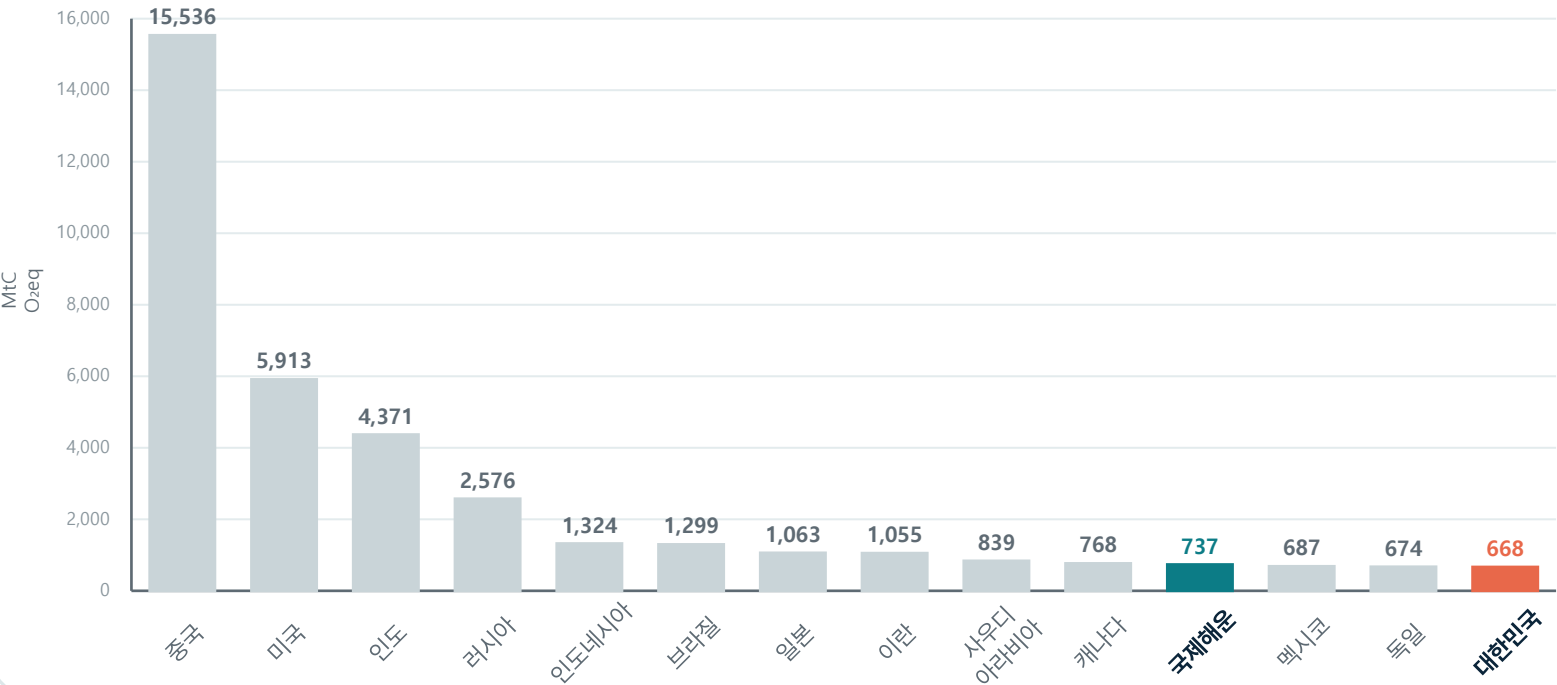
해운의 국제적 온실가스 기여

해운 분야의 온실가스 배출

해운을 하나의 국가로 본다면, 세계 약 11위 규모, 대한민국은 13위 배출국

2024년 온실가스 배출량 비교

단위: MtCO₂eq



국제해운

737 MtCO₂eq

가상 세계 11위

대한민국

668 MtCO₂eq

국가 기준 13위

자료: European Commission JRC, EDGAR 2025 Report(2024년 자료) · LULUCF 제외

대한민국의 친환경 선박 정의

친환경 선박

환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률에 따르면, 친환경 선박을 특정 연료가 아니라 여러 기술 유형의 묶음으로 정의

01



오염 저감·효율 향상

해양오염 저감기술 또는
선박에너지효율 향상기술 적용

대표 기술 예시

고효율 프로펠러

공기유향·폐열회수

02



친환경에너지 추진

LNG·메탄올 등
환경친화적 에너지 사용

대표 기술 예시

LNG·메탄올·수소·암모니아 등

환경친화적 에너지

03



전기추진선박

외부에서 충전한 전기에너지로
전기모터를 구동

대표 기술 예시

배터리·육상충전

전기모터 추진

04



하이브리드선박

연료와 전기에너지를 조합해
상황별로 최적 운전

대표 기술 예시

엔진+배터리

상황별 최적운전

05



연료전지추진선박

수소 등을 이용해 생산한
전기에너지로 추진

대표 기술 예시

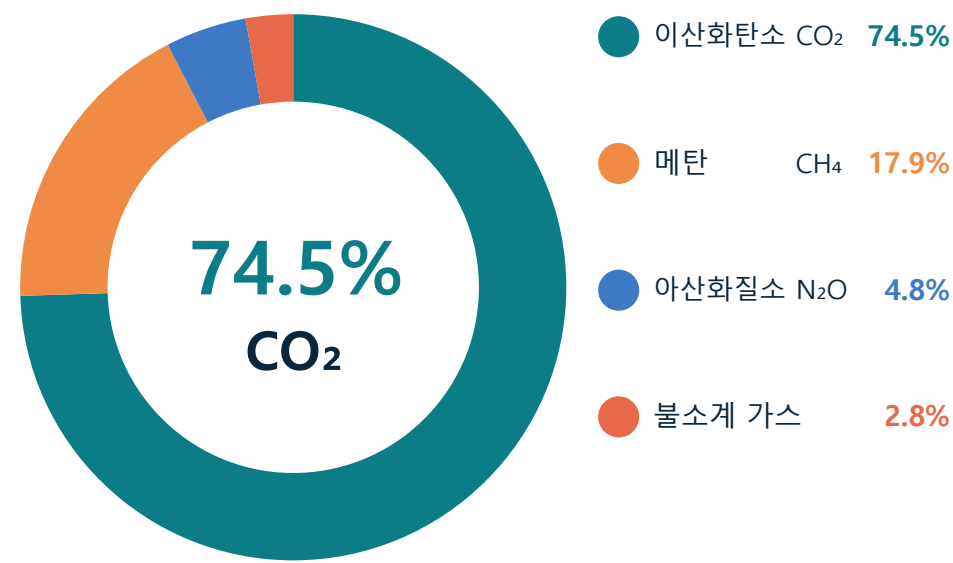
수소+연료전지

전기에너지로 추진

중요: 법률상 친환경선박이라는 분류와 전과정 무배출·탄소중립은 같은 뜻이 아닙니다.

친환경 용어

2024년 세계 온실가스 구성



CO₂가 가장 큰 비중이고, 에너지 체계가 탄소 기반 화석 연료에 의존해 왔기 때문에 “탈탄소·무탄소”라는 표현을 자주 사용합니다.

용어의 관계

온실가스 감축	CO ₂ ·CH ₄ ·N ₂ O·F-gases 전체를 줄이는 가장 넓은 목표
탈탄소	화석 탄소 기반 에너지·산업구조의 의존도를 단계적으로 낮추는 과정
무탄소	특정 단계에서 CO ₂ 를 직접 배출하지 않는 상태
탄소중립·넷제로	배출을 최대한 줄이고 남은 배출을 제거·흡수해 순배출량을 0으로 만드는 것

주의: 무탄소 연료라도 CH₄·N₂O 또는 생산단계 배출이 남을 수 있으므로 “온실가스” 관점이 필요합니다.

탄소 중심의 용어가 많이 사용되지만, 실제 규제와 환경평가는 CO₂뿐 아니라 메탄과 아산화질소까지 포함

자료: European Commission JRC, EDGAR 2025 Report — 화석 CO₂ 74.5%, CH₄ 17.9%, N₂O 4.8%, F-gases 2.8%



CHAPTER II

친환경 해운과 환경규제

Eco-friendly Shipping and Environmental Regulations

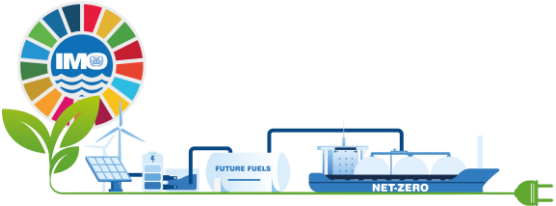
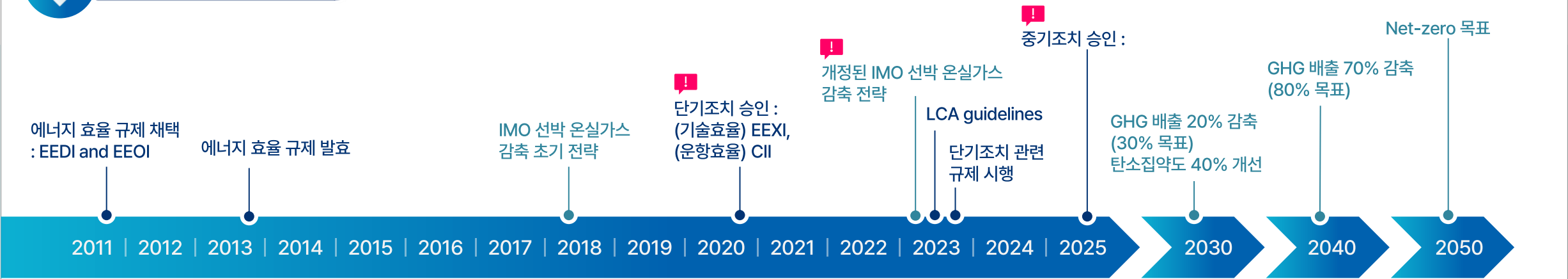


한국해양대학교
NATIONAL
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

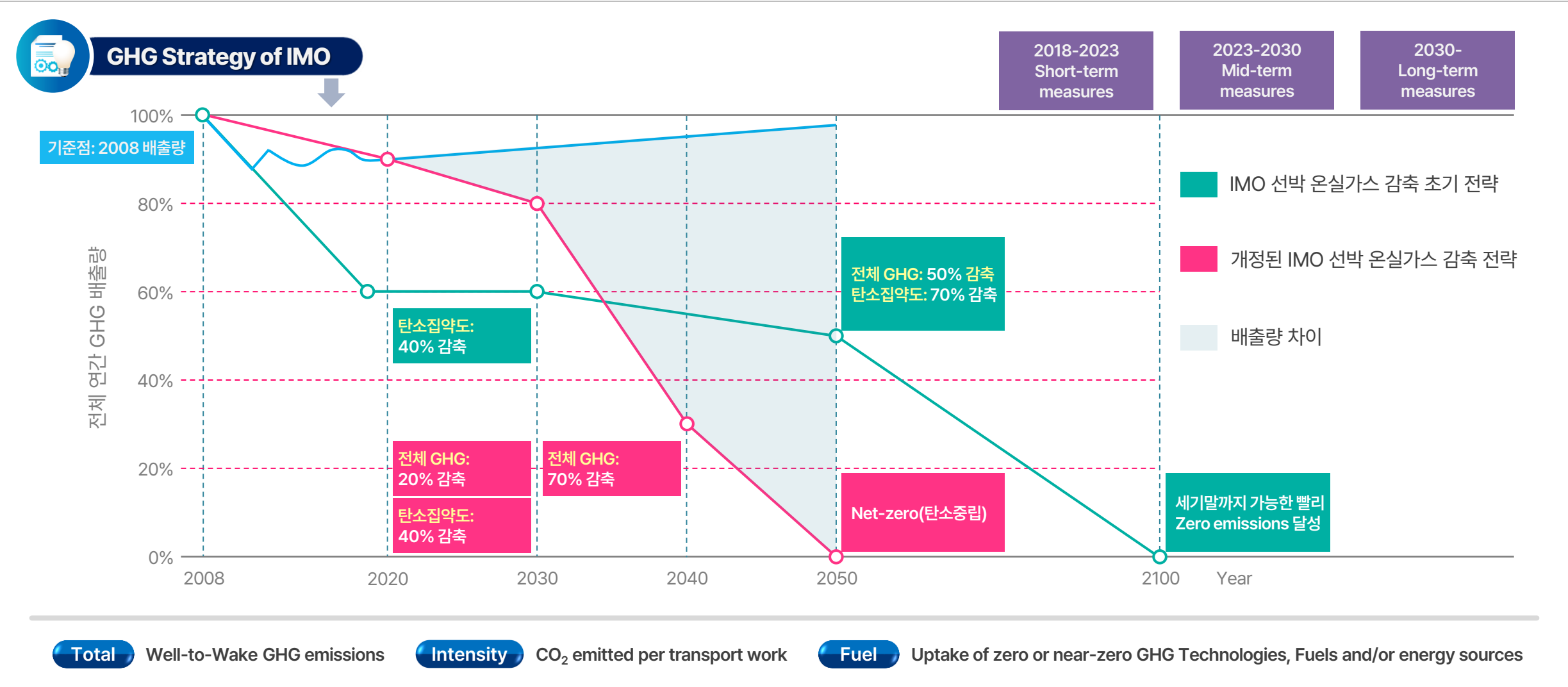
해운 환경규제

강제 규제 전략 목표 **중요 사항**

Committee outputs



IMO 선박 온실가스 감축 전략



자료: IMO, 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships

국제 해운 환경규제

Where is the next area?

유럽



EU Fit for 55

FuelEU Maritime

- GHG : CO₂ : 1, CH₄ : 25, N₂O : 298
- WtW basis + Flexible Mechanism

EU Emissions Trading System

UK MRV

Applied ships | 5000 GT above
Geographical scope |
100% of Intra & Extra-UK voyage
GHG | CO₂ Reporting Scheme

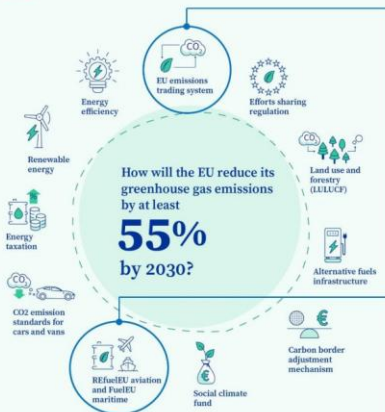


미국

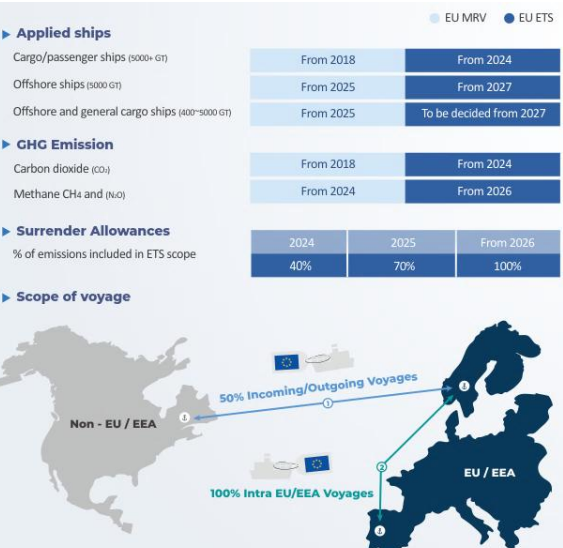
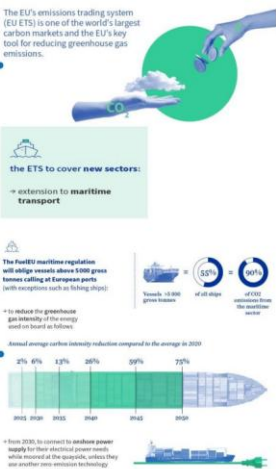
US Clean Shipping Act

Applied ships | 400 GT above
Geographical scope |
100% of Intra & Extra-US voyage
GHG | CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆

Fit for 55: how the EU will turn climate goals into law



Reform of the EU emissions trading system explained



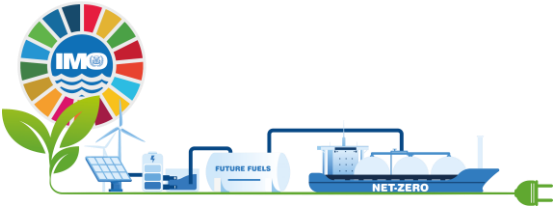
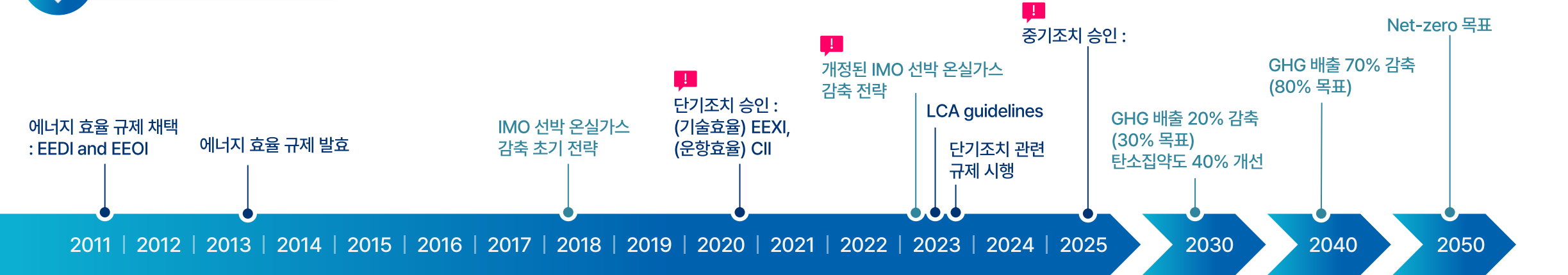
Year	US	EU
Reference	2024 (XX gCO _{2eq} /MJ)	2020 (91.16 gCO _{2eq} /MJ)
2025	-	-2%
2027	-20%	-
2030	-45%	-6%
2035	-80%	-14.5%
2040	-100%	-31%
2045		-62%
2050		-80%

자료: European Commission EU ETS-FuelEU Maritime

해운 환경규제

강제 규제 전략 목표 **중요 사항**

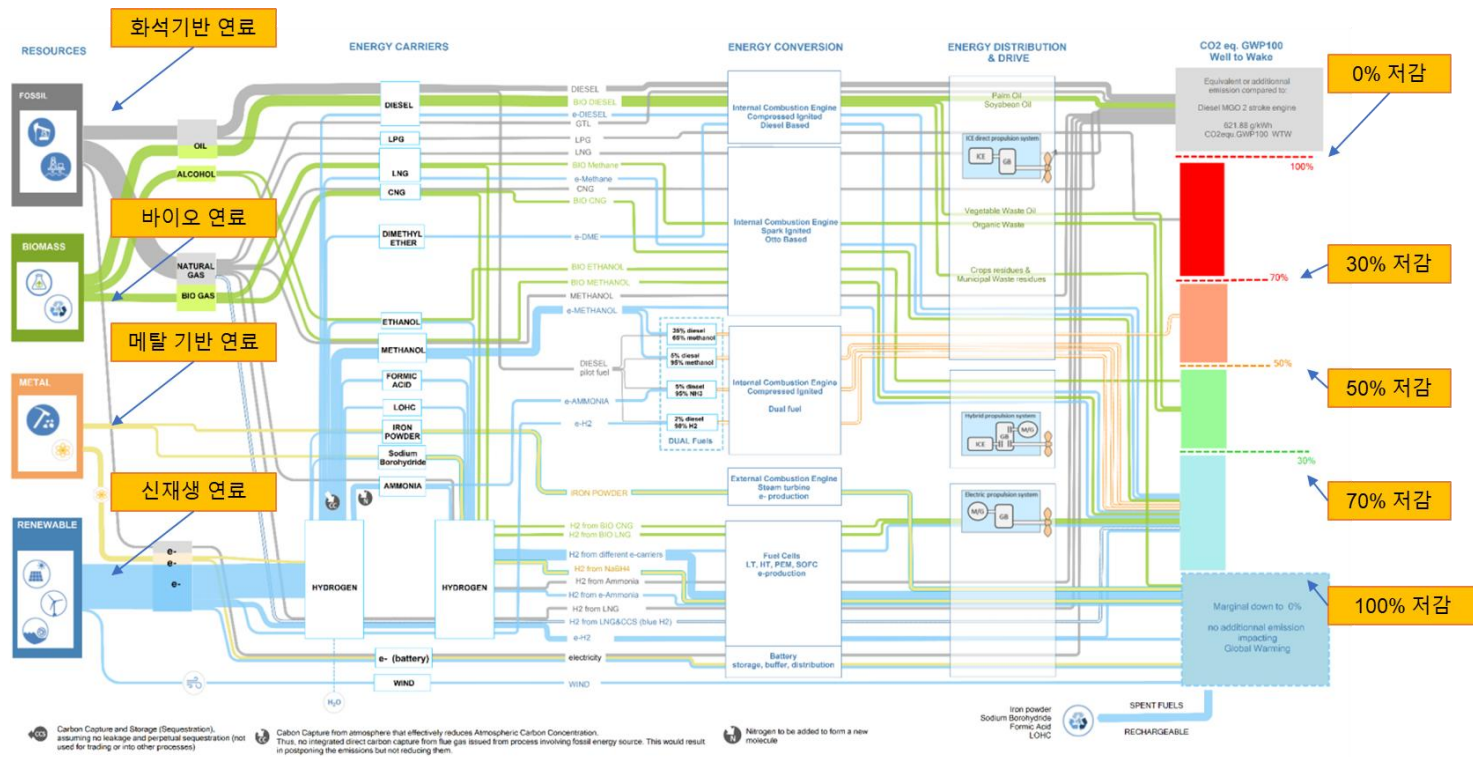
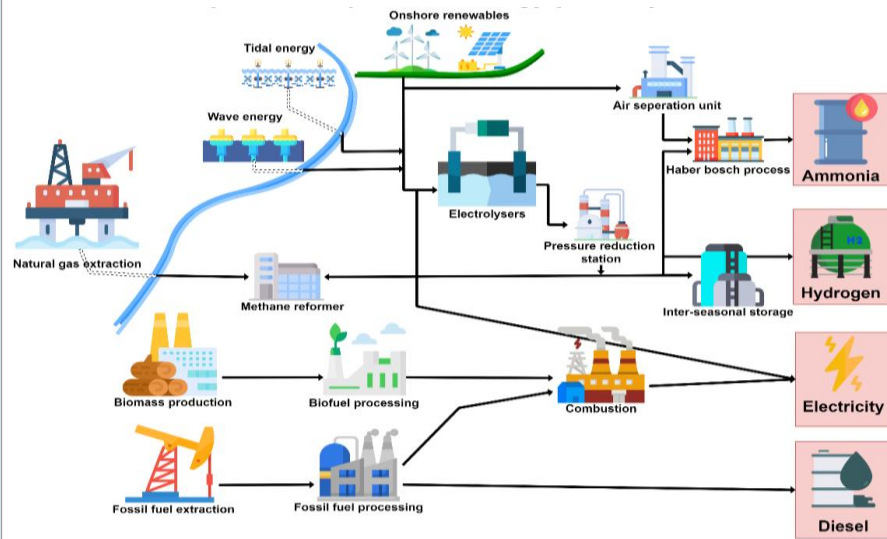
Committee outputs



해운 대체연료의 가능성

연료의 관점 변화 필요

- 동일한 연료를 사용하더라도 생산 과정에 따라 확연히 달라지는 환경 영향



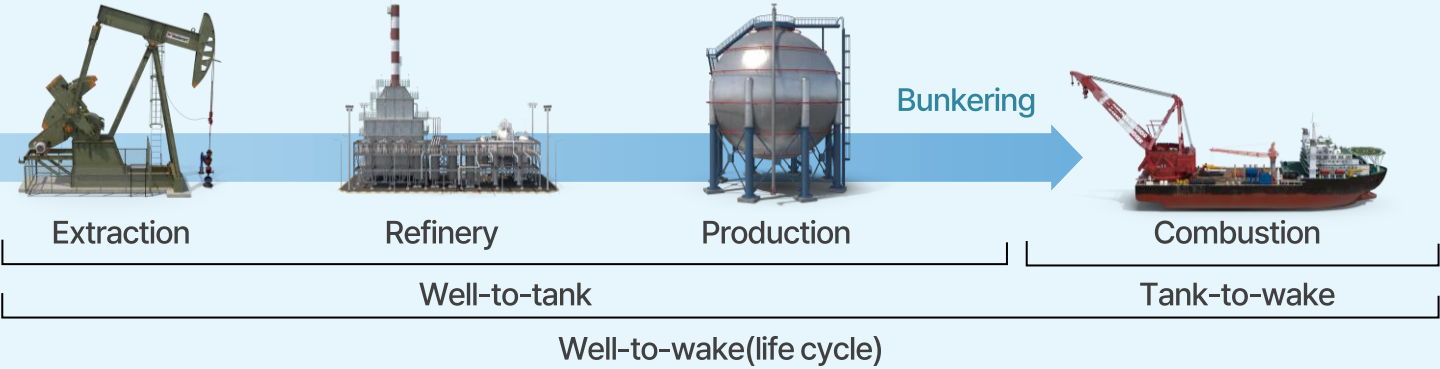
해운 연료의 배출량 산정 방식 변화

연료의 관점 변화 필요

LCA Guidelines Resolution MEPC.370(80)

- 연료유 전주기 평가
 - 선박 추진과 발전에 사용하는 해양 연료/에너지 운송에 대해 정의·분류, 연료유 생산과정에 따른 온실가스 배출계수 산정 채택
 - 온실가스 배출 계수는 연료 추출, 생산, 전환, 운송, 유통에 이르는 전단계에 거쳐 평가
- 평가 범위
 - 생애전주기를 Well-to-tank(WtT), Tank-to-wake(TtW), Well-to-Wake(WtW)로 분류함
 - 온실가스 범위는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)

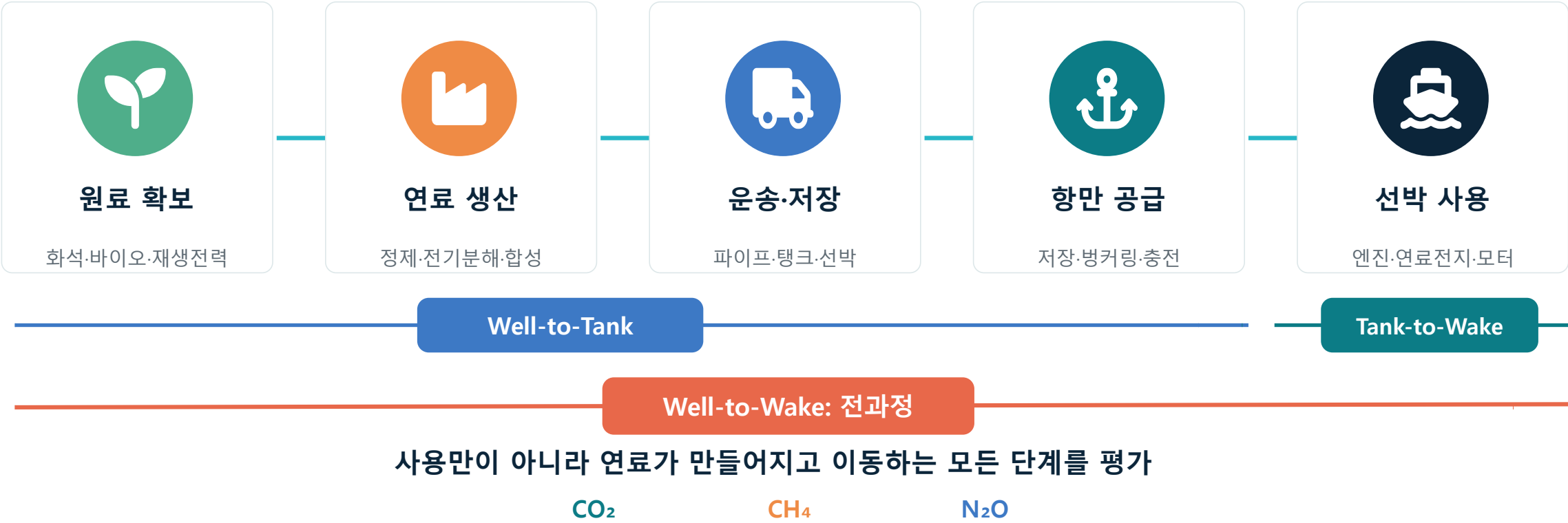
$$GHG_{WtW} = GHG_{WtT} + GHG_{TtW}$$



전과정 평가

Life Cycle Assessment(LCA)

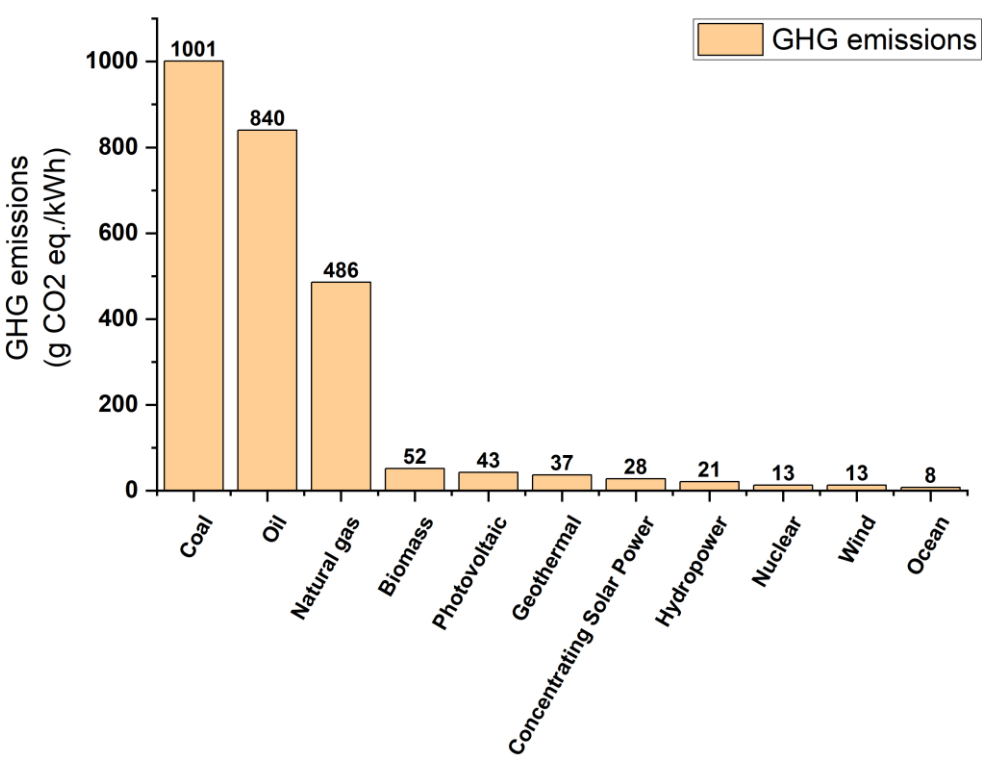
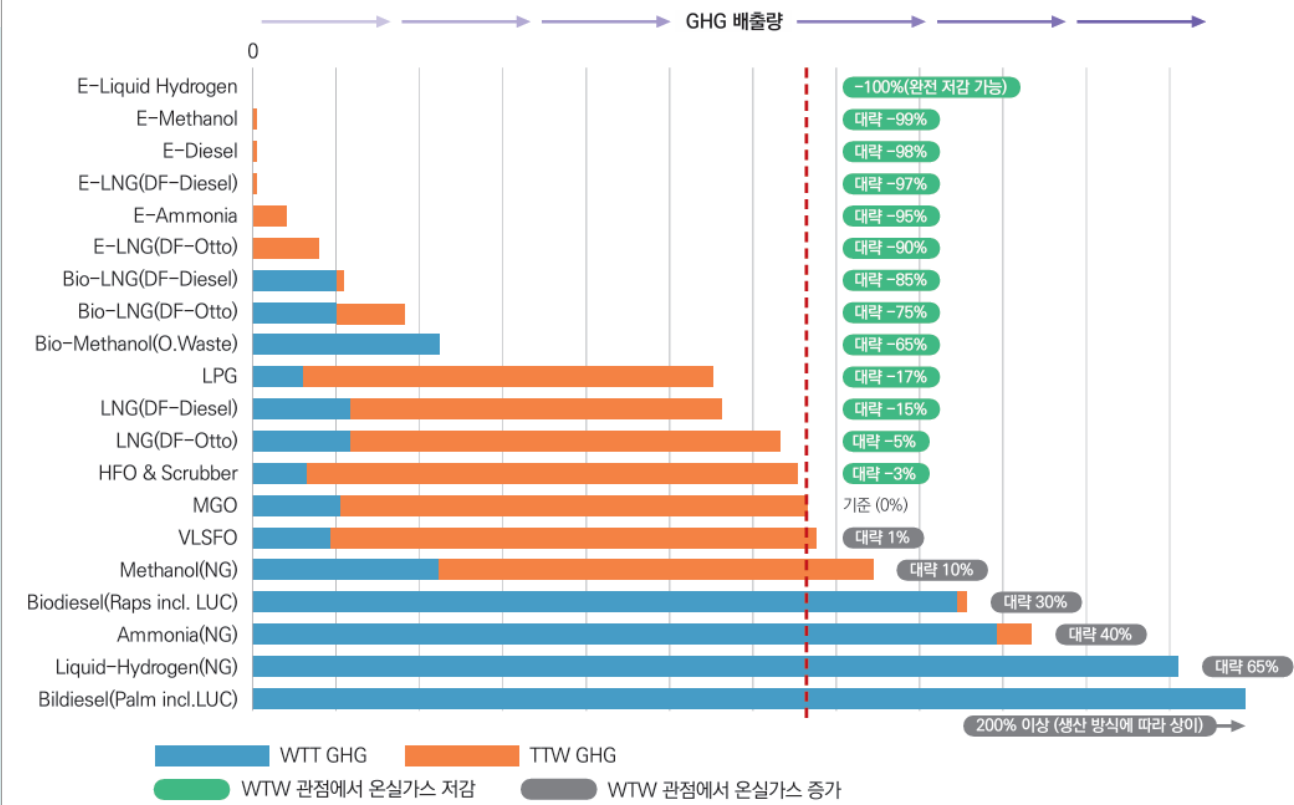
- Emissions – 사용 단계 뿐만 아니라 전과정에 걸쳐서 발생



해운분야 연료에 대한 전과정 평가 필요

에너지의 전과정 환경 영향

- 생산 시 사용되는 에너지원에 따라 극명하게 달라지는 환경 영향

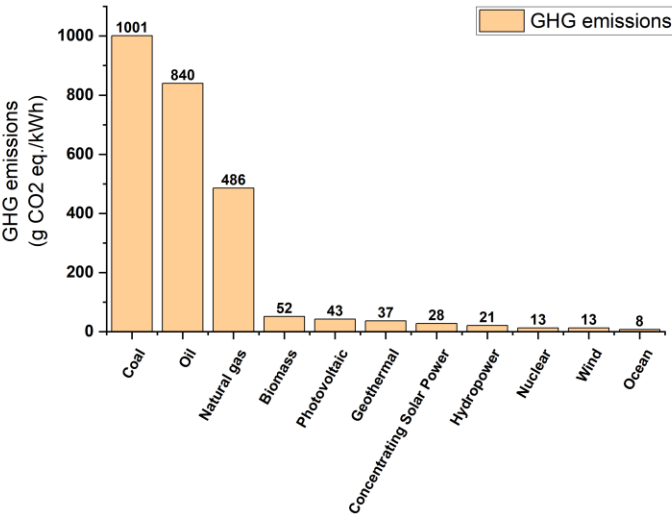
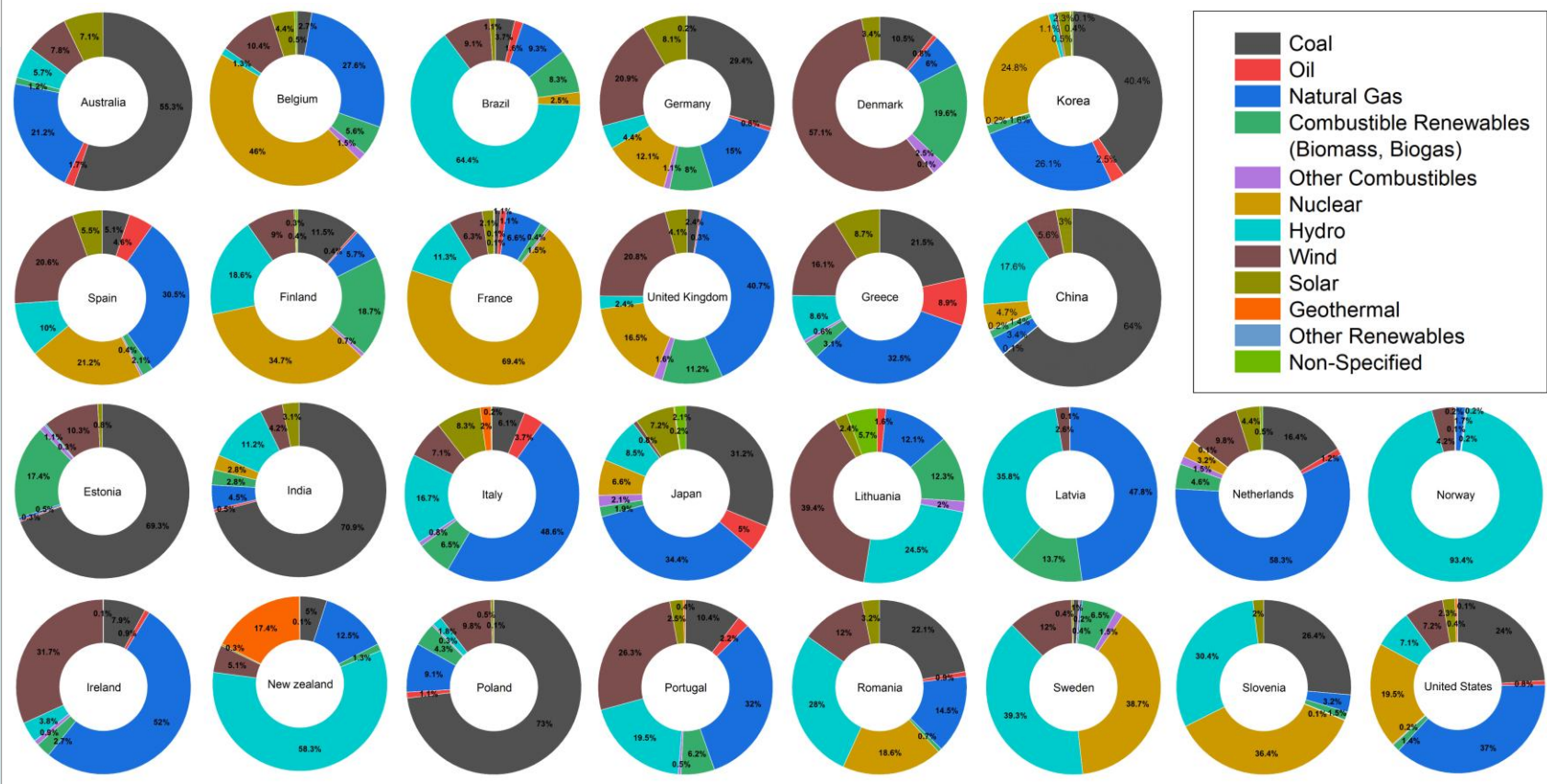


전기에너지 생산 시 사용되는 에너지원에 따른 전과정 환경 영향

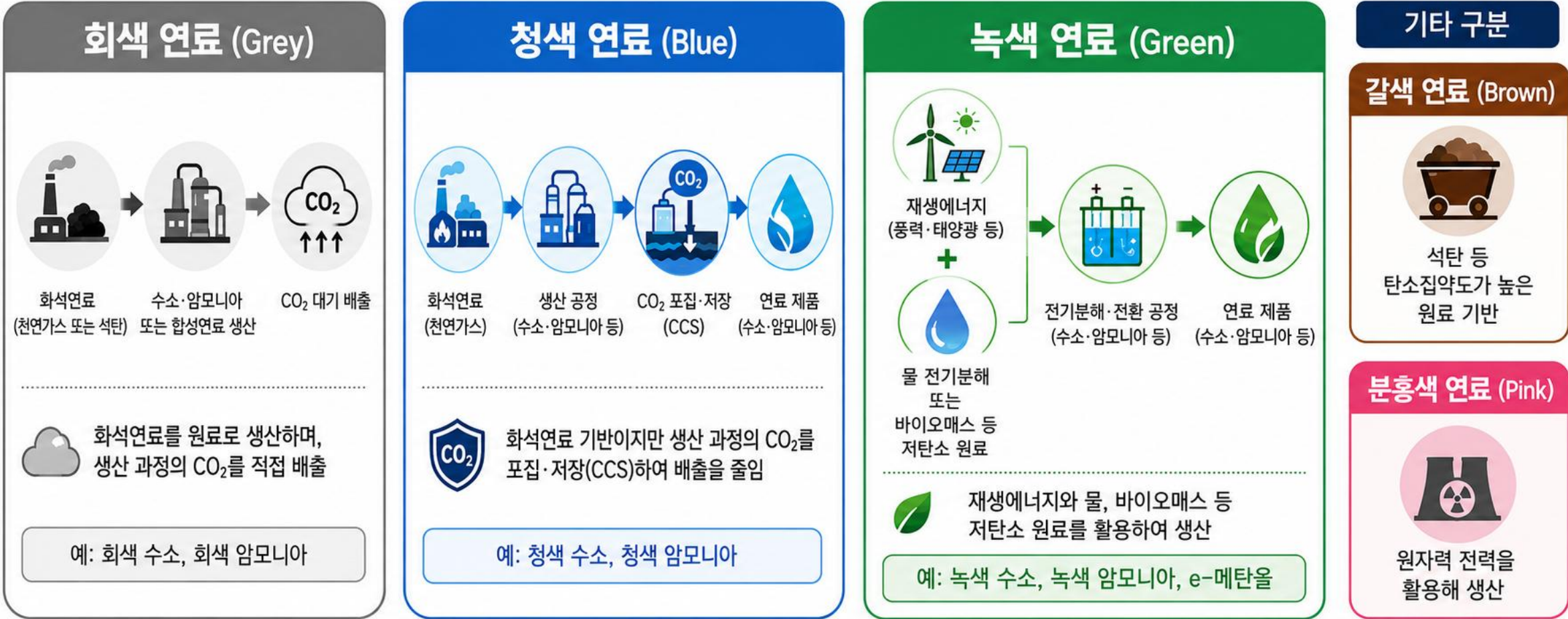
해운분야 연료에 대한 전과정 평가 필요

에너지의 전과정 환경 영향

- 생산 시 사용되는 에너지원에 따라 극명하게 달라지는 환경 영향



해운분야 연료의 생산 방식에 따른 분류



핵심 차이 = 어떤 에너지원과 원료를 사용하고, 생산 과정의 CO₂를 어떻게 처리하느냐

※ 색상 구분은 연료 자체의 물리적 색이 아니라 ‘생산 경로와 탄소 특성’을 설명하는 개념입니다.



CHAPTER III

미래 친환경 해운

Future Green Shipping



한국해양대학교
NATIONAL
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

대표적인 탄소저감 기술

선박용 대체연료로서 저탄소 및 무탄소 연료

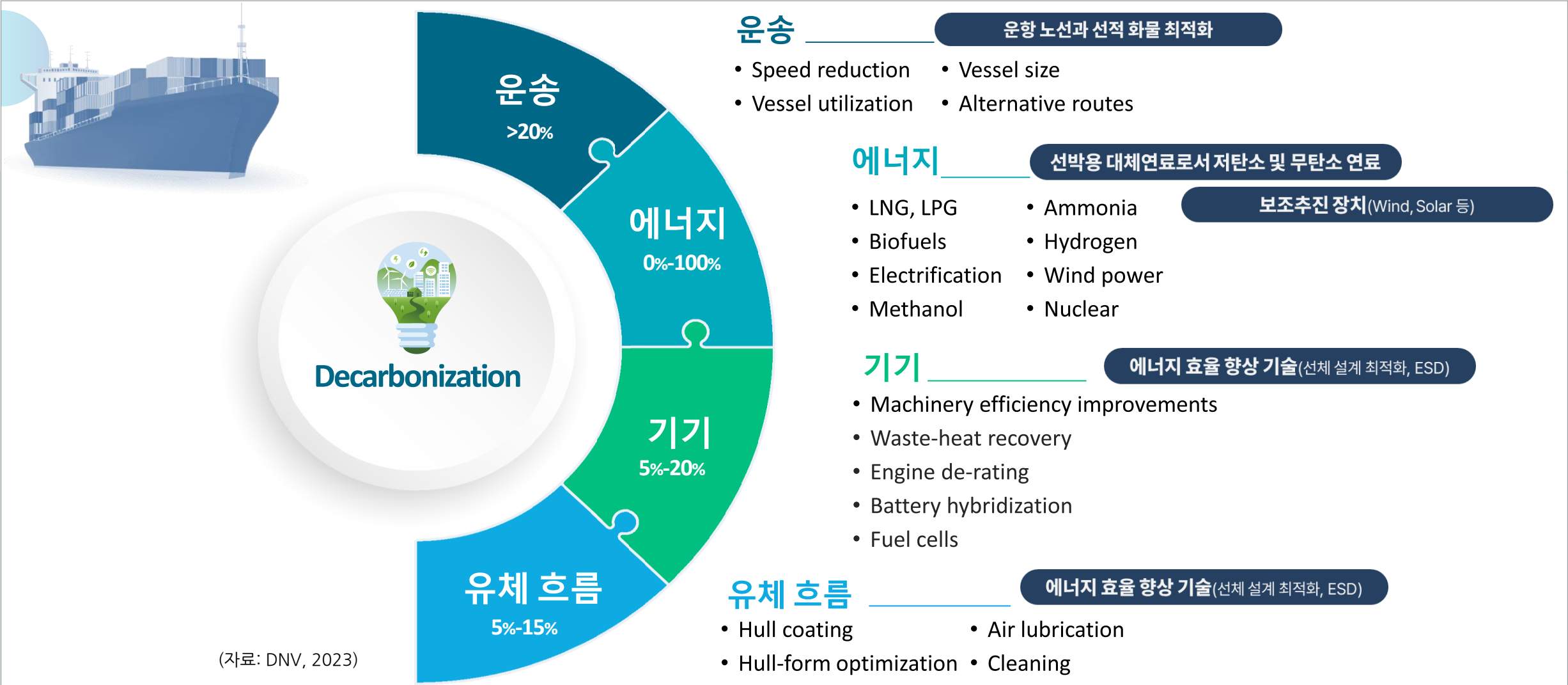
에너지 효율 향상 기술(선체 설계 최적화, ESD)

보조추진 장치(Wind, Solar 등)

운항 노선과 선적 화물 최적화

기술의 융복합 적용

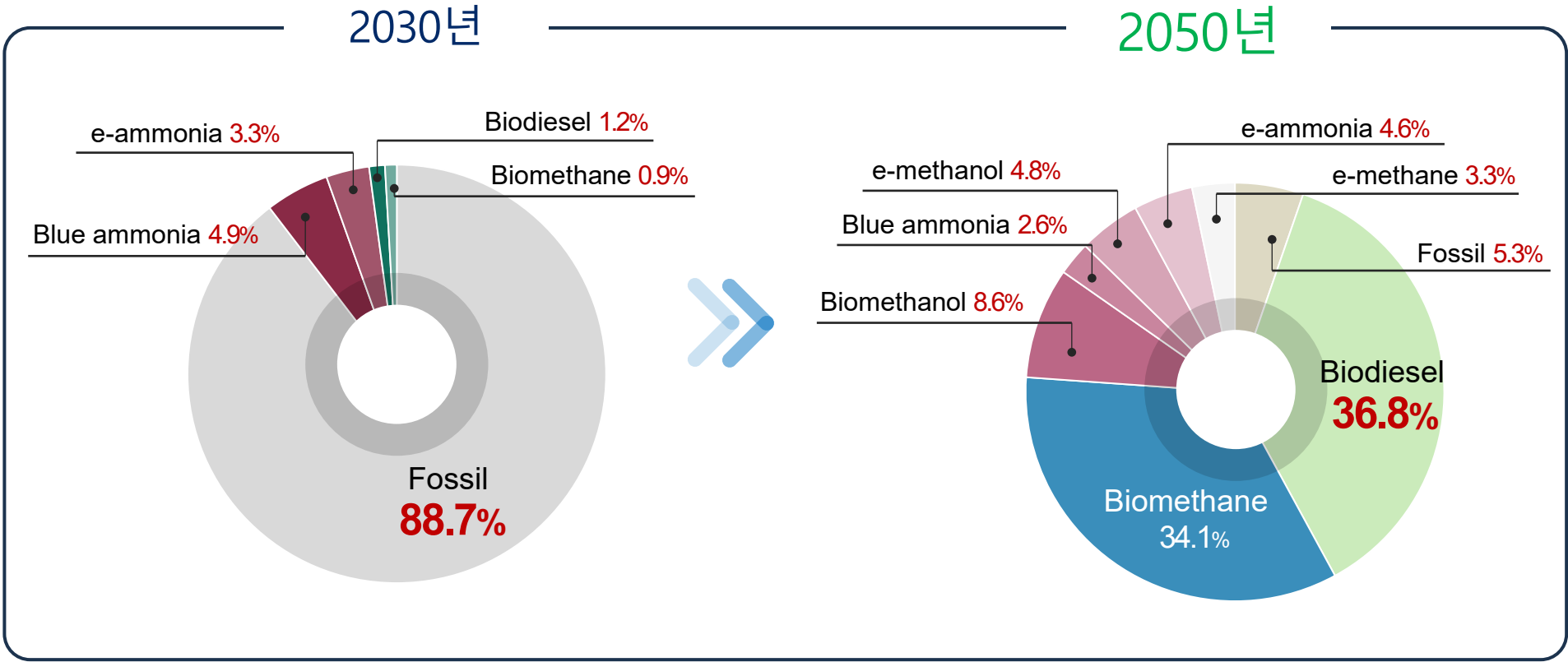
해운 GHG 저감 방안



해운 GHG 저감 방안

다양한 연료 기반 탄소중립 시나리오

- 바이오 연료 기반 시나리오

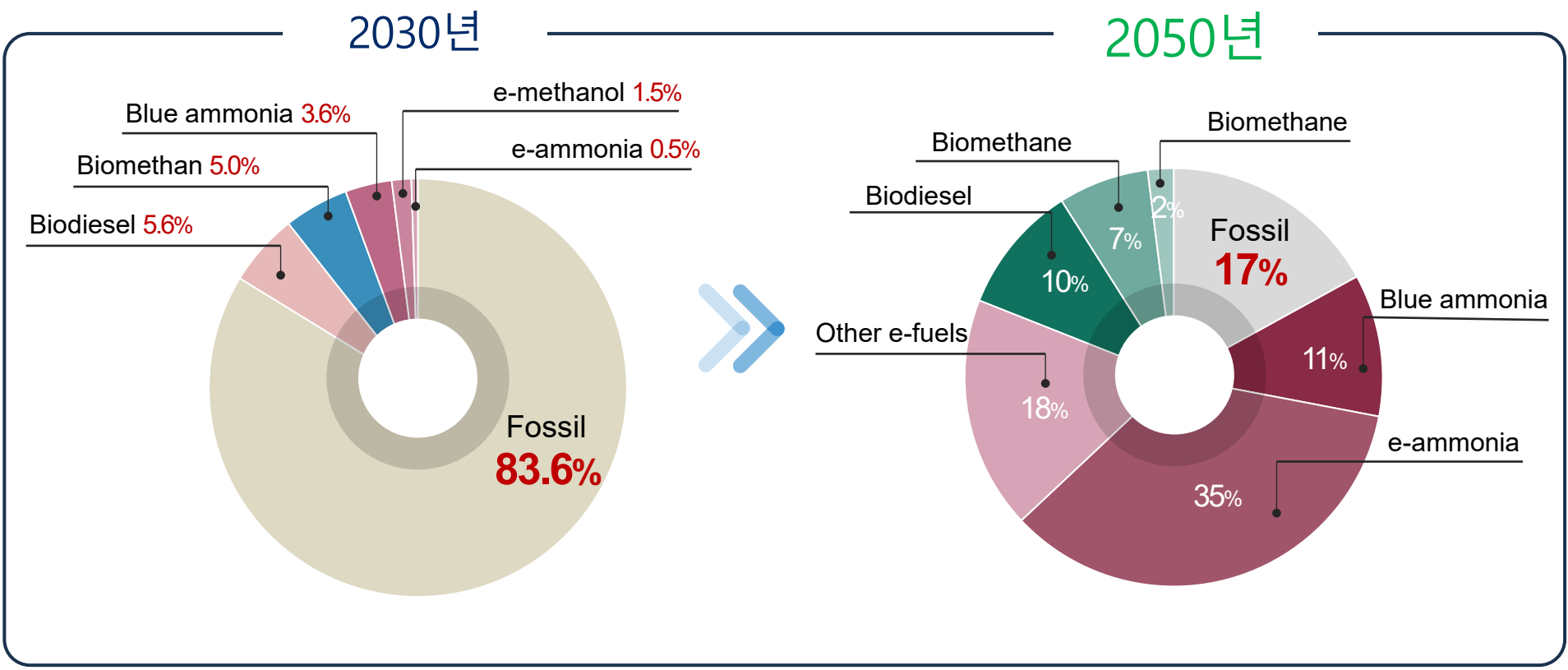


(자료: Lloyd's Register, 2023)

해운 GHG 저감 방안

다양한 연료기반 탄소중립 시나리오

- 수소 연료 기반 시나리오



(자료: Lloyd's Register, 2023)

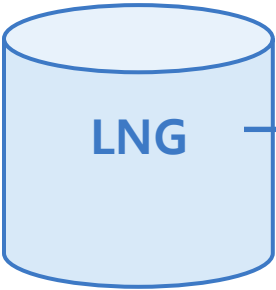
LNG와 바이오 연료

LNG & 바이오 연료



LNG

전환기 선택지



- ✓ SOx·입자상물질 저감
- ✓ 기술·공급망이 비교적 성숙
- ⚠ 여전히 화석연료
- ⚠ 메탄 슬립·공급망 누출

대기오염 저감에는 장점, 전과정 온실가스에는 한계



바이오연료

기존선 활용 가능성



폐식용유·폐기물 등



정제·인증



기존 엔진 활용

- ✓ 원료가 지속가능한가?
- ✓ 식량·산림과 경쟁하지 않는가?
- ✓ 전과정 감축이 검증되는가?

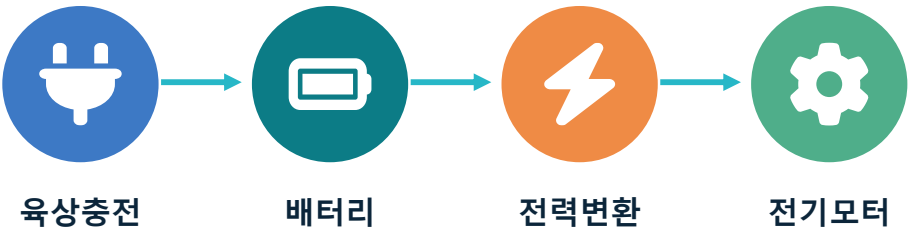
“바이오”라는 이름보다 무엇으로 만들었는지가 중요

자료: IMO-EMSA 대체연료 자료. LNG는 메탄 배출, 바이오연료는 원료 지속가능성이 핵심.

배터리 전기추진과 하이브리드

배터리 & 하이브리드

전기 에너지 흐름



운항 중 직접 배기가스 없음

하이브리드: 엔진 + 배터리로 저부하·입출항 구간 최적화

어디에 적합할까?

- 높은 모터 효율
- 배터리 무게·공간
- 소음·진동 감소
- 대용량 충전 인프라
- 짧은 고정항로에 유리
- 화재·열폭주 안전

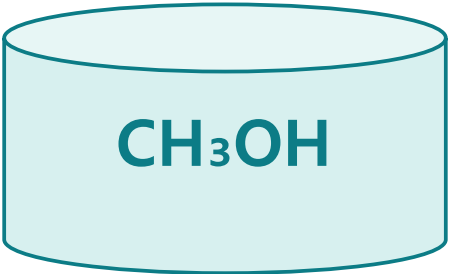


메탄올 연료

메탄올



상온 액체연료



저장·공급이 상대적으로 용이
이중연료엔진 적용 확대

메탄올의 세 가지 생산경로



화석기반 메탄올

천연가스·석탄 등



전과정 배출 큼



바이오메탄올

지속가능한 바이오 원료



원료에 따라 달라짐



e-메탄올

재생전력 + 그린수소 + 포집 CO₂



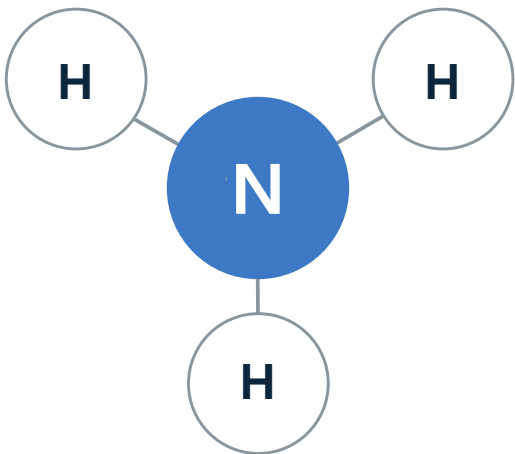
낮은 WtW 가능

과제: 낮은 에너지밀도 · 독성·인화성 · 친환경 메탄올 공급량과 가격

자료: IMO Future Fuels — Methanol. 친환경성은 연료명보다 생산경로가 결정.

암모니아 연료

암모니아



분자에 탄소가 없음

사용단계 직접 CO₂ 없음

장거리 대형선박용
미래 연료 후보

기대와 안전 과제를 함께 봐야 합니다

기대



직접 CO₂ 배출 없음



기존 화학산업 경험 활용



대형선박의 에너지 운반 가능성

안전·환경 과제



높은 독성·부식성



누출감지·환기·격리



NO_x·N₂O 관리



그린 암모니아 생산

“탄소가 없다”와 “안전하고 친환경적이다”는 다른 판단

수소와 연료전지

수소 & 연료전지

수소 → 연료전지 → 전기모터



조용한 전기추진 · 사용단계 직접 CO₂ 없음

핵심 과제

-  **저장부피** 고압 또는 극저온 저장
-  **누출·화재** 감지·환기·점화원 관리
-  **항만 인프라** 공급·충전·안전구역
-  **생산방식** 그린수소인지 확인



자료: EMSA Hydrogen as fuel for ships — 저장공간·안전·공급망이 핵심

연료만으로 완성되지 않는 미래 선박

풍력보조추진
로터세일·윙세일 주기판
연료사용 감소

디지털 운항
기상·파도·조류·정시도착
에너지 최적화

태양광·배터리
보조전력·피크부하 대응
하이브리드 운용

육상전원공급
정박 중 보조엔진 정지 항만
대기오염 저감

다양한 미래 선박 연료 전망

미래 친환경 선박

- 하나의 연료가 지배하는 미래보다는, 선종별-운항루트/구간별 다른 연료가 적용될 수 있다.

단거리·항만

짧은 고정항로



소형선·여객선

- 배터리
- 하이브리드
- 수소연료전지

연안·중거리

반복·중간 항속



연안화물선·페리

- 배터리 하이브리드
- 바이오연료
- 메탄올

장거리·대형선

대양 횡단



컨테이너선·벌크선

- 메탄올
- 암모니아
- 바이오·e-연료
- 풍력보조

선박 크기 · 항로 · 탱크공간 · 연료공급 · 안전 · 비용을 함께 고려

최적 조합

“최고의 연료 1개”보다 “목적에 맞는 기술 조합”

친환경 해운의 미래

미래 친환경 해운 - 하나의 시스템



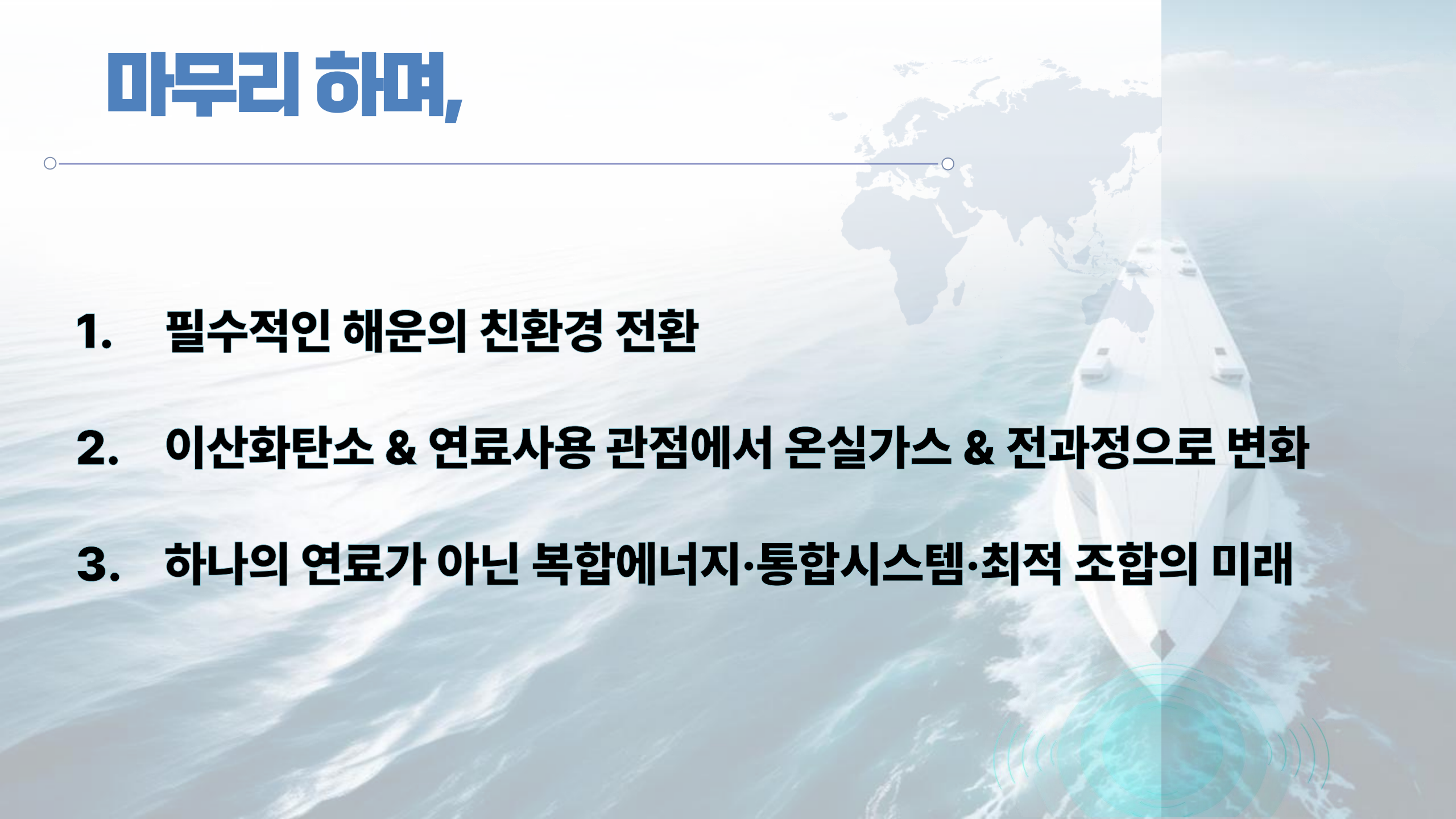
친환경 연료의 위험성

친환경 연료의 특성

• 선박 친환경 연료의 특성

연료	인화점 (°C)	자연 발화 온도 (°C)	가연성 한계 (대기 중 부피 %)	고위 발열량 (HHV, MJ/kg)	밀도 (t/m3)	독성
액화 천연 가스 (LNG)	-188	537	4-15	55.2	0.49	무독성
수소 (Hydrogen)	정의 안됨	500	4-74.2	141.7	0.023 (고압) / 0.071(액화)	무독성
암모니아 (Ammonia)	132	630	15-28	22.5	0.61	매우 유독성
메탄올 (Methanol)	11-12	470	6.7-36	23.0	0.79	낮은 급성 독성
액화 석유 가스 (LPG)	-104	410-580	1.8-10.1	49.3	0.49	무독성
바이오 디젤 (HVO)	>61	204	0.6-7.5	40.2	0.835	무독성
배터리-전기 (Battery-electric)	해당 없음	해당 없음	해당 없음	-	-	해당 없음
디젤 (Diesel)	52	210	0.6-7.5	39.0	0.835	무독성

마무리 하며,

- 
1. 필수적인 해운의 친환경 전환
 2. 이산화탄소 & 연료사용 관점에서 온실가스 & 전과정으로 변화
 3. 하나의 연료가 아닌 복합에너지·통합시스템·최적 조합의 미래



국립한국해양대학교
NATIONAL
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

감사합니다



국립한국해양대학교

박치병 교수