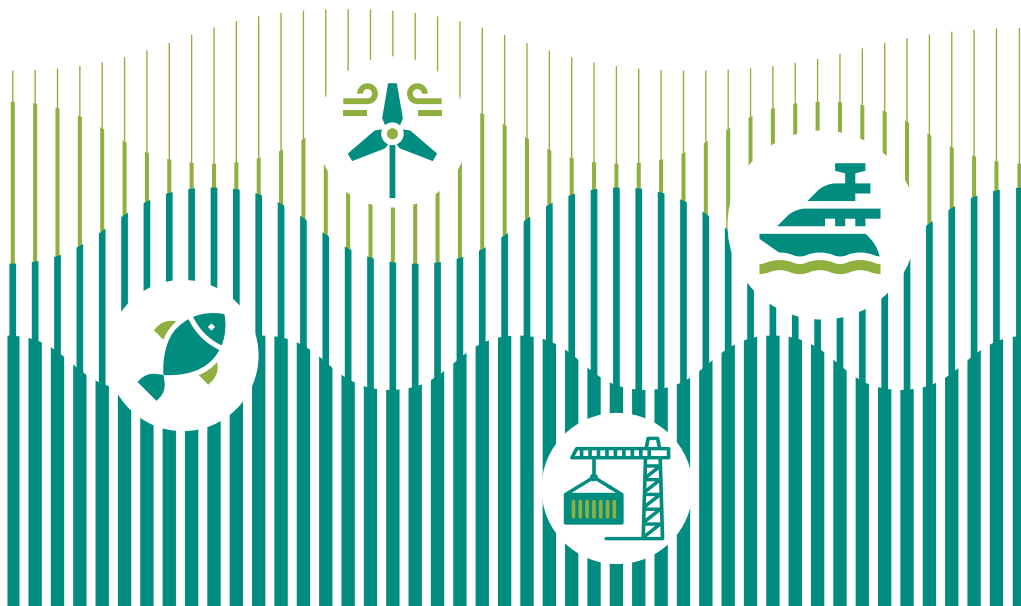


# 탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너선대 교체 수요 추정 연구

A Study on the Estimation of Container Fleet Replacement Demand  
in Respond to Carbon Emissions Regulations

최건우 · 황수진 · 류희영 · 김병주



# 탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너선대 교체 수요 추정 연구

A Study on the Estimation of Container Fleet Replacement Demand  
in Respond to Carbon Emissions Regulations

최건우 · 황수진 · 류희영 · 김병주



한국해양수산개발원  
KOREA MARITIME INSTITUTE

---

저자	최건우, 황수진, 류희영, 김병주
내부연구진	연구책임자 최건우 한국해양수산개발원 해운연구본부 부연구위원 공동연구원 황수진 한국해양수산개발원 해운연구본부 부연구위원 공동연구원 류희영 한국해양수산개발원 해운연구본부 전문연구원 공동연구원 김병주 한국해양수산개발원 해운연구본부 전문연구원

---

연구기간	2024. 1. 1. ~ 2024. 10. 31.
------	-----------------------------

#### 보고서 집필내역

---

연구책임자	최건우 연구총괄, 제1~5장
내부연구진	황수진 제2장 제1절, 제4장 제1절 류희영 제2장 제1절, 제2절 김병주 제4장 제1절, 제2절

---

# 발간사

지구 온난화가 세계적인 문제로 인식되어 이를 해결하기 위한 노력이 지속되고 있다. 파리 기후협약을 비롯해 다양한 국제협약들이 진행되고 있는데 해운에서도 이에 대한 논의가 활발히 진행 중이다. 1973년 해양오염방지협약으로 초기 논의가 시작되고, 이후 2018년 온실가스 배출 초기전략이 채택되면서 이를 달성하기 위해 해운산업 참여자들의 다양한 노력이 시작되었다.

세계 온실가스 배출량의 2~3%를 차지하는 해운의 노력에도 불구하고 지구 온난화 문제는 심각해졌다. 국제해사기구(IMO)는 2023년 MEPC 80차 회의에서는 2050년까지 해운산업의 탄소배출량 넷-제로(Net Zero)를 달성하는 목표를 제시했다. 2018년 초기전략에서는 2008년 대비 50% 절감을 목표로 했기 때문에 상대적으로 선박 운영에서 화석연료 사용을 일부 허용했으나 목표가 강화되면서 무탄소 선박의 필요성이 확대되었다. 이미 2023년부터 현존선에 대한 에너지효율지수가 실시되고, 올해는 CII 등급이 발표되었다. 이에 선사들은 선속 감속이나 출력제한 등을 통해 대응하고 있으나 넷-제로를 달성하기에는 상당한 시간과 예산이 필요할 것으로 전망된다.

이번 연구는 해운산업의 한 축인 컨테이너 해운산업에서 친환경 선대로 교체가 얼마나 어떻게 일어나야 하는지를 가늠하기 위해 시작되었다. 이에 글로벌 선사들이 운영하는 선대 자료를 활용해 IMO의 2050 달성을 위해서 신조와 폐선이 얼마나 이루어져야 하는지를 보다 정밀하게 분석하는데 연구의 초점을 맞추었다. 또한 국적선사들이 보유한 컨테이너 선대의 운항 등급 자료를 활용해 감속과 바이오연료 사용을 통해 선박 운항기간을 얼마나 늘릴 수 있고, 향후 교체 시점은 언제가 되는지를 살펴본다. 이를 통해 해운 산업에서 필요한 수요뿐만 아니라 선박을 건조하기 위해 필요한 조선 및 금융 수요가 얼마나 필요할지 살펴볼 때 참고할 기초 자료가 되리라 기대한다.

끝으로 이 연구에 직접적으로 수행한 연구책임자와 연구진께 감사를 표한다. 아울러 이 연구에 자문과 조언을 아끼지 않은 윤희성 한국해양대학교 교수와 해양수산부 김호택 사무관, 그린비즈솔루션의 이승철 부사장께 깊은 감사를 드린다. 마지막까지 보고서의 완성도를 높이고 출판될 수 있게 노력하신 한국해양수산개발원 내 모든 직원들에게 이 자리를 빌려 감사드린다.

---

2024년 12월  
한국해양수산개발원  
원장 김 종 덕

---

# 목차

요약\_i

Executive Summary\_vii

## 01

### 서론\_1

제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	3
제2절 연구 내용 및 추진 방법	5
1. 연구 범위 및 주요 내용	5
2. 연구 방법	6
제3절 선행연구	8
1. 기존 연구와 차별성	8
2. 선행연구 검토	9

## 02

### 해운부문의 탈탄소 규제\_13

제1절 글로벌 탄소배출 규제	13
1. IMO	13
2. EU	21
제2절 탈탄소 규제에 따른 컨테이너 선사들의 대응	30
1. 탈탄소 규제 동향	30
2. 글로벌 컨테이너 선사들의 탈탄소 추진 방향	32

## 03

### 탈탄소 규제에 따른 글로벌 컨테이너 선대 교체 수요 전망\_37

제1절 컨테이너 선대 전망	38
----------------	----

1. 컨테이너 물동량 전망	38
2. 컨테이너 선대 전망	41
제2절 컨테이너선대 탄소배출량 추정(BAU)	45
1. 컨테이너선 연료 소모량 추정	45
2. 컨테이너선대 탄소배출량 전망	53
제3절 컨테이너선대 교체 수요 전망	59
1. 탄소배출량 감축 방안	59
2. 미래 연료 수요 전망 시나리오	63
3. 컨테이너 선대 교체 수요 전망(신조/폐선)	68
제4절 소결	73

## 04 국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망 \_77

제1절 국적 컨테이너 선대 현황 및 교체 수요 추정 방법	77
1. 국적 선사 컨테이너 선대 운영 현황	77
2. 국적선사 컨테이너선대 교체 수요 전망 방법론	81
제2절 국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망	87
1. 국적 컨테이너 선대 교체 수요 추정 프로세스	87
2. 현재 선대 운영방식 유지(시나리오1)	89
3. 선속 감소를 통한 대응(시나리오2)	91
4. 바이오연료 사용을 통한 대응(시나리오3)	94
제3절 소결	97

## 05 결론 \_99

제1절 결론	99
1. 연구 결과	99
2. 연구 기여	102
제2절 정책 제언	103

---

1. 향후 해운시장은 '얼마나'보다 '어떻게' 운송하는지가 중요	103
2. 중소형 선박에 대한 지원이 필요	105
3. 친환경 선박 기준의 변경 필요성	106
4. 친환경 연료/선박에 대한 보다 적극적인 준비 필요	107
5. 온실가스 모니터링 및 시뮬레이션 시스템 구축 필요	109
6. 비용을 고려한 연구 필요	110

**참고문헌 \_111**



---

# 표 목차

〈표 1-1〉 연구의 프로세스	7
〈표 1-2〉 기간별 세계 교역과 GDP 간의 탄력성	9
〈표 1-3〉 선박 속도에 따른 연료소모량	11
〈표 2-1〉 IMO의 규제 변화	13
〈표 2-2〉 IMO의 온실가스 배출 저감을 위한 규제	17
〈표 2-3〉 EU Fit for 55 개요	22
〈표 2-4〉 EU MRV 항차별 EU ETS에 적용되는 온실가스 배출량 적용 비율	25
〈표 2-5〉 FuelEU Maritime 페널티 산정 방식	27
〈표 2-6〉 FuelEU Maritime 주요 조항 상세내용	28
〈표 2-7〉 온실가스 규제 현황	30
〈표 2-8〉 컨테이너 선사들의 LNG 추진선 보유 현황	33
〈표 2-9〉 글로벌 컨테이너 선사들의 넷-제로 목표	33
〈표 2-10〉 선박 크기별 대체연료 보유 현황	34
〈표 2-11〉 머스크의 메탄올 공급 파트너사와 생산량	36
〈표 3-1〉 세계 총생산(GDP)과 컨테이너 물동량과의 탄력성	39
〈표 3-2〉 동 연구와 DNV 컨테이너 물동량 예측 비교	41
〈표 3-3〉 2050년 선대 비중 전망	43
〈표 3-4〉 컨테이너선 선대 전망(7.5TEU/slot 기준)	44
〈표 3-5〉 컨테이너선 선대 전망(8.0TEU/slot 기준)	45
〈표 3-6〉 변수별 기초통계량	47
〈표 3-7〉 선형회귀분석 결과	49
〈표 3-8〉 엘라스틱넷 회귀분석 결과	50
〈표 3-9〉 분위회귀분석 결과	52
〈표 3-10〉 컨테이너선 연료소모량 추정(8.0TEU/slot 기준)	57
〈표 3-11〉 컨테이너선 연료소모량 추정(7.5TEU/slot 기준)	58
〈표 3-12〉 2050년까지 탄소배출량 비교	59
〈표 3-13〉 연료별 탄소배출계수	60
〈표 3-14〉 연료 유형별 열량	60
〈표 3-15〉 생산 방식에 따른 탄소배출량 차이	61
〈표 3-16〉 선박 연료 보급률	63

---

〈표 3-17〉 해운산업 연료 전망	64
〈표 3-18〉 친환경 연료선 발주 현황	65
〈표 3-19〉 2050년 화석연료 비중	66
〈표 3-20〉 시나리오 설정	69
〈표 3-21〉 연도별 신조 인도량(8.0TEU/slot 기준)	72
〈표 3-22〉 연도별 폐선 발생량(8.0TEU/slot 기준)	73
〈표 4-1〉 국적 선사 컨테이너 선대 운영 현황	79
〈표 4-2〉 국적 선사 컨테이너 보유 선대 운영 현황(2024년 기준)	80
〈표 4-3〉 CII 등급	82
〈표 4-4〉 선박 크기별 선속	91
〈표 4-5〉 선형회귀분석 결과	93
〈표 4-6〉 선박 등급에 따른 바이오연료 사용 시점	96
〈표 5-1〉 신조 건조 비용 추정(폐선기준)	103
〈표 5-2〉 Scope3 공시 의무화 일정	104
〈표 5-3〉 친환경 선박의 정의	106
〈표 5-4〉 친환경 에너지 정의	106
〈표 5-5〉 주요 선사의 ETS 할증료	109

---

# 그림 목차

〈그림 1-1〉 컨테이너선 연료별 신조 발주 추이	2
〈그림 1-2〉 컨테이너 선대 전망 프로세스	10
〈그림 1-3〉 컨테이너 선대 탄소배출량 전망	11
〈그림 2-1〉 IMO 선박온실가스 감축 전략 로드맵	14
〈그림 2-2〉 IMO 온실가스 감축 목표	16
〈그림 2-3〉 IMO의 EEXI	19
〈그림 2-4〉 EU Fit for 55 패키지 주요 구성	21
〈그림 2-5〉 EU ETS 규제 이행을 위한 연대표	23
〈그림 2-6〉 EU EEA 권역별 EU ETS에 적용되는 온실가스 배출량 적용 비율	24
〈그림 2-7〉 EU ETS EXTENSION TO MARITIME TRANSPORT	25
〈그림 2-8〉 연료의 Well-to-Wake 기반 온실가스 배출량 산정	27
〈그림 2-9〉 온실가스 배출 범위(scope1/2/3)	31
〈그림 2-10〉 글로벌 선사들의 메탄올 추진선 발주 현황	35
〈그림 3-1〉 컨테이너 선대 교체 수요 추정 프로세스	38
〈그림 3-2〉 세계 컨테이너 물동량과 세계 GDP	39
〈그림 3-3〉 원추정과 탄력성을 이용한 예측	40
〈그림 3-4〉 컨테이너 물동량과 선대량, 슬롯 회전율	42
〈그림 3-5〉 컨테이너 평균 선속 추이	42
〈그림 3-6〉 컨테이너 크기별 비중 전망(2050년)	43
〈그림 3-7〉 컨테이너선 연료소모량 추정 프로세스	46
〈그림 3-8〉 패널티(람다)에 따른 변수별 영향도 변화(엘라스틱넷)	50
〈그림 3-9〉 분위 변화에 따른 계수 변화	53
〈그림 3-10〉 해운산업의 연료소모량	55
〈그림 3-11〉 해운에서 컨테이너선대의 연료소모량	56
〈그림 3-12〉 컨테이너선대의 탄소배출량 전망(8.0TEU/slot 기준)	57
〈그림 3-13〉 컨테이너선대의 탄소배출량 전망(7.5TEU/slot 기준)	58
〈그림 3-14〉 2030~2050년 해운 연료 전망	64
〈그림 3-15〉 연료별 사용 비중 추이 전망	67
〈그림 3-16〉 컨테이너 해운산업 탄소배출량 전망	67
〈그림 3-17〉 탄소배출량 목표치	68

---

〈그림 3-18〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오1) .....	70
〈그림 3-19〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오2) .....	70
〈그림 3-20〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오3) .....	71
〈그림 3-21〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오4) .....	72
〈그림 4-1〉 연료별 가격 전망(~2050) .....	85
〈그림 4-2〉 연료별 가격 구성 항목 및 비중(2030년 기준_탄소세 제로) .....	86
〈그림 4-3〉 연료별 가격 구성 항목 및 비중(2030년 기준_탄소세 톤당 300달러) ...	87
〈그림 4-4〉 컨테이너 교체 수요 추정 프로세스 .....	89
〈그림 4-5〉 2019년 대비 연도별 탄소배출량 감축 기준(추정치) .....	90
〈그림 4-6〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오1) .....	90
〈그림 4-7〉 컨테이너선의 실제 운항항로(2023.7-12) .....	91
〈그림 4-8〉 A~C등급과 D~E등급 선박의 선속 추이 .....	92
〈그림 4-9〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오2) .....	94
〈그림 4-10〉 바이오연료 생산 원료에 따른 탄소배출 감축률 .....	95
〈그림 4-11〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오3) .....	96
〈그림 5-1〉 친환경 연료 벙커링 권역별 인프라 조성 .....	108

---

## 약어 목록

- AIS: 선박자동식별장치(Automatic Identification System)
- BAU: 평상시 유사한 상황(Business As Usual)
- CII: 탄소집약도(Carbon Intensity Indicator)
- EEDI: 선박에너지효율설계지수(Energy Efficiency Design Index)
- EEOI: 선박에너지효율운항지수(Energy Efficiency Operational Indicator)
- EEXI: 현존선에너지효율지수(Energy Efficiency Existing ship Index)
- ETS: 탄소배출권 거래제(Emission Trading System)
- HFO: 중유/고유황유(Heavy Fuel Oil)
- IEA: 국제에너지기구(International Energy Agency)
- IMO: 국제해사기구(International Maritime Organization)
- IHS: Information Handling Services
- LSFO 저유황유(Low Sulfur Fuel Oil)
- MEPC: 해양환경보호위원회(Marine Environment Protection Committee)
- MGO 선박용 경유(Marine Gas Oil)
- SEEMP: 선박에너지효율관리계획서(Ship Energy Efficiency Management Plan)
- SSP: 공통사회경제경로(Shared Socioeconomic Pathways)
- OECD: 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development)

## 요 약

# 탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너선대 교체 수요 추정연구

최건우 · 황수진 · 류희영 · 김병주

## 1. 연구목적

- IMO 탈탄소 규제에 맞춰 컨테이너 선대의 교체 수요를 추정·전망함
  - 글로벌 컨테이너 선대의 교체 수요와 국적선사 보유 선대에 대한 교체 수요를 구분하여 추정
- 해운 전후방 산업(조선, 금융 등)에서 사용될 기초 자료 생성함
  - 컨테이너 해운산업의 참여자들이 미래 대응 방안을 마련할 때 활용할 수 있는 기초자료를 생성

## 2. 연구 특징 및 방법

- 선박DB를 통해 컨테이너선 연료 소모량 추정식을 도출해 2050년까지 글로벌 컨테이너 선대 탄소배출량을 추정·전망함
  - 글로벌 선대에 대한 연료소모량 추정식을 도출하기 위해 선형회귀분석과 분위회귀분석 등을 활용

- 국적선사의 선대 교체 수요를 추정하기 위해 2022년 기준 CII 자료를 활용해 2050년까지 등급을 추정
- 또한 선속 감소, 친환경 연료 사용 등 시나리오를 추가해 선박 교체 기간의 변동을 예상

〈요약 표〉 연구의 프로세스

연구 흐름	세부 내용	연구 방법
↓	↓	↓
서론	• 연구 개요, 내용 및 연구 차별성	-
↓	↓	↓
선행연구	• 해운산업의 탄소배출량 규제 및 대응 • 컨테이너 수요 및 공급 전망 • 선박 운항에 따른 탄소배출량 추정	• 문헌조사 • 선행연구 검토
↓	↓	↓
해운산업의 탈탄소 규제 및 대응현황	• 국제 기구별 탈탄소 규제 현황(IMO, EU) • 글로벌 컨테이너 선사들의 대응	• 문헌조사(IMO, Alphaliner, Clarkson, Drewry 등)
↓	↓	↓
탈탄소 규제에 따른 컨테이너 선대 교체 수요 전망	• 컨테이너 물동량 전망(~2050) - 세계 GDP, GDP와 '컨'물동량 간의 탄력성 • 컨테이너 선대 전망(~2050) - 슬롯(slot) 당 회전율 • 컨테이너선 연료소모량 추정식 - 선속, 크기, EEDI 등 변수 활용 • 컨테이너선 연료 소모량을 활용한 탄소배출량 전망(~2050)	• 문헌조사(IMO, IEA, DNV, Alphaliner, McKinsey 등) • 다중/규제/분위회 구분식 • 컨테이너 DB활용
↓	↓	↓
국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망	• 컨테이너선대 교체 수요 추정 방법론 - 한계저감비용(MAC), 선령, CII 등 • 국적 컨테이너선대 CII를 활용한 전망 - 국적 선사 CII 등급을 활용한 전망(~2050) - AIS를 활용한 국적선사 선속 추정 • 시나리오를 활용한 교체 수요 전망 - 바이오연료, 감속 등	• 문헌조사(IMO, IEA, DNV, Alphaliner, McKinsey 등) • AIS를 활용한 국적선사 선속 • 시나리오 설정

연구 흐름	세부 내용	연구 방법
↓	↓	↓
결론 및 정책 제언	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 결론               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구 기여, 결론 등</li> </ul> </li> <li>• 정책 제언               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈탄소 교체에 따른 금융 비용 계산</li> </ul> </li> </ul>	-

### 3. 연구 결과

#### 1) 연구 결과 요약

- IMO의 규제를 충족하기 위해서는 매년 글로벌 선대의 4.8%씩 친환경 선박으로 전환이 필요함
  - 매년 180만 TEU 이상의 컨테이너선에 대한 신조 발주와 폐선이 발생해야 탄소배출 규제를 만족함
  - 글로벌 컨테이너 물동량은 2050년 기준 약 3.3억TEU, 선대는 4,157만 TEU 전망됨
- 현재 추세로 진행될 경우 2050년 기준 글로벌 컨테이너 선대의 탄소 배출량은 2.8억 톤에 이를 것으로 전망됨
  - 컨테이너 선대의 총 연료소모량은 9,026만 톤으로 추정돼 넷-제로 달성을 위해서는 거의 모든 컨테이너 선대의 무탄소 선박으로 교체가 필요함
  - 하지만 IEA 등에서는 선박의 내용연수가 20년 이상이기 때문에 넷-제로 달성에 회의적임
  - 실현 가능한 시나리오를 통해 추정할 경우 2050년 기준 컨테이너 선대는 4,612만 톤 이하의 탄소배출량을 기록해야 할 것으로 전망됨
- 국적 컨테이너 선사들의 선박은 2033년 이전에 60% 이상 교체



- 
- 선속 감소로 선속을 5% 감축하면 폐선 시기를 2년 연장 가능, 바이오연료 사용시 5~6년 교체시기 연장 가능

## 2) 제언

- 향후 해운시장은 ‘얼마나’보다 ‘어떻게’ 운송하는지가 중요
- 탄소배출 범위가 Scope3까지 확장될 예정으로 화주들은 탄소배출량 관리가 선사의 경쟁력을 평가 요소로 반영
- 중소형 선박에 대한 지원 필요
- 중소형 선사는 건조 가능한 조선소에 대한 제약, 선사의 영세성으로 인해 대형선사에 대해 금융 조달 비용이 높을 수밖에 없어 정책적인 지원이 필요함
- 친환경 선박에 대한 기준 변경 필요
- 현재 친환경 선박은 「환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙」제3조에 따라 친환경 에너지를 사용하는 선박으로 한정함
- 친환경 선박에 대한 정의가 매우 제한적으로 적용됨에 따라 국적선사들이 친환경 선박 인증에 어려움을 겪고 이에 대한 기준 변경이 필요함
- 온실가스 모니터링 및 시뮬레이션 시스템 구축 필요
- 2024년부터 실시된 EU의 ETS 할증료는 동일구간에도 불구하고 선사별 초 100% 이상 차이가 발생함
- 글로벌 컨테이너 선사들은 온실가스 모니터링 시스템을 운영 중이나 중소형 선사의 경우 관련 시스템 구축에 어려움을 겪을 수 있어 이에 대한 지원 프로그램 도입 필요
- 해체시장에 대한 준비 필요

- 홍콩협약의 2026년 발효로 폐선을 할 수 있는 작업장 부족 문제 발생 가능성이 높음
- 친환경 선대에 대한 교체가 본격화 될 경우 현재의 폐선 처리시설로는 감당할 수 없을 가능성도 상존하므로 이에 대한 준비가 필요함



## EXECUTIVE SUMMARY

# A Study on the Estimation of Container Fleet Replacement Demand in Respond to Carbon Emissions Regulations

Gun-Woo Choi · Soo-Jin Hwang · Hee-Young Ryu · Byeong-Ju Kim

## 1. Purpose

- This study aims to estimate and forecast the replacement demand for the global container fleet in alignment with the decarbonization regulations set forth by the IMO.
- Differentiate and estimate the replacement demand for the global container fleet and the fleet owned by national shipping companies.
- This study also intends to develop foundational data that can be utilized in maritime-related industries (shipbuilding, finance, etc.).
- Provide basic data that participants in the container shipping industry can use to prepare for future challenges.

## 2. Methodology and Features

- This research estimates and forecasts carbon emissions from container fleets through 2050 by deriving a fuel consumption estimation formula for container ships using a ship database.
- Utilize linear regression analysis, quantile regression analysis, and similar methods to derive a fuel consumption estimation formula for the global fleet.
- Use 2022 CII data to project ratings through 2050, enabling the forecast of replacement demand for fleets owned by national shipping companies
- Incorporate scenarios such as reduced ship speed and the use of eco-friendly fuels to project variations in the replacement cycle of ships.

〈Summary Table〉 Study Process

Study Flow	Detailed Contents	Research Method
⇓	↓	
Introduction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Study overview, contents, and differentiation</li> </ul>	-
⇓		
Literature Review	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbon emission regulations and responses in the shipping industry</li> <li>• Forecast of container demand and supply</li> <li>• Estimation of carbon emissions from ship operations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literature review</li> <li>• Analysis of previous studies</li> </ul>
⇓		

Current Status of Decarbonization Regulations and Responses in the Shipping Industry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overview of decarbonization regulations by international organizations (IMO, EU)</li> <li>• Responses of global container shipping companies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literature review (IMO, Alphaliner, Clarkson, Drewry, etc.)</li> </ul>
↓		
Forecast of Container Fleet Replacement Demand Under Decarbonization Regulations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forecast of container cargo volumes (~2050) <ul style="list-style-type: none"> <li>– Global GDP and the elasticity between GDP and container volume</li> </ul> </li> <li>• Forecast of container fleet (~2050) <ul style="list-style-type: none"> <li>– Turnover rate per slot</li> </ul> </li> <li>• Estimation formula for container ship fuel consumption <ul style="list-style-type: none"> <li>– Variables such as ship speed, size, EEDI, etc.</li> </ul> </li> <li>• Forecast of carbon emissions using fuel consumption data (~2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literature review (IMO, IEA, DNV, Alphaliner, McKinsey, etc.)</li> <li>• Multivariate, regulatory, and quantile regression analysis</li> <li>• Use of container database</li> </ul>
↓		
Forecast of National Container Fleet Replacement Demand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methodology for estimating fleet replacement demand <ul style="list-style-type: none"> <li>– Marginal abatement cost (MAC), ship age, CII, etc.</li> </ul> </li> <li>• Forecast based on CII of national container fleets <ul style="list-style-type: none"> <li>– Forecast using CII ratings of national shipping companies (~2050)</li> <li>– Speed estimation of national shipping fleets using AIS data</li> </ul> </li> <li>• Scenario-based replacement demand forecast <ul style="list-style-type: none"> <li>– Use of biofuels, speed reduction, etc.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literature review (IMO, IEA, DNV, Alphaliner, McKinsey, etc.)</li> <li>• Speed of national shipping fleets using AIS</li> <li>• Scenario setting</li> </ul>
↓		
Conclusion and Policy Recommendations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conclusion <ul style="list-style-type: none"> <li>– Study contributions and findings</li> </ul> </li> <li>• Policy recommendations <ul style="list-style-type: none"> <li>– Calculation of financial costs associated with decarbonization and fleet replacement</li> </ul> </li> </ul>	

Source: Prepared by the authors

---

### 3. Result

#### 1) Summary

- To comply with IMO regulations, approximately 4.8% of the global container fleet will need to be replaced annually with eco-friendly vessels.
- More than 1.8 million TEUs of new container ships must be ordered and scrapped each year to meet carbon emissions regulations.
- Global container volumes are expected to reach approximately 3.3 billion TEUs in 2050, with a fleet of 41.57 million TEUs.
- Carbon emissions from the global container fleet are expected to reach 280 million tons in 2050(Business As Usual).
- The total fuel consumption of container ships is estimated to be 90.26 million tons, so almost all container ships need to be replaced with carbon-free ships to achieve net-zero.
- However, the IEA and others are skeptical about achieving net-zero because the service life of ships is more than 20 years.
- Estimates from realistic scenarios suggest that by 2050, the container fleet will need to emit less than 46.12 million tons of carbon.
- More than 60% of Korean container shipping liner' ships will be replaced before 2033.
- Ship speeds will be reduced by 5% If reduced, the scrapping period can be extended by 2 years, and the replacement period can be extended by 5-6 years when using bio-fuel.

## 2) Recommendations

- In the future shipping market, ‘how’ is transported is more important than ‘how much’
  - The scope of carbon emissions is expected to expand to Scope 3, so shippers will reflect carbon emission management as an evaluation factor for the competitiveness of shipping companies.
- Small and medium-sized Container liners need support
  - Small and medium-sized shipping companies have to face higher financing costs than large shipping companies due to restrictions on shipyards that can build them and the small size of shipping companies, so policy support is needed.
- Need to change the standards for eco-friendly ships
  - Currently, eco-friendly ships are limited to ships that use eco-friendly energy according to Article 3 of the “Regulations on Standards and Certification of Eco-Friendly Ships”
  - Since the definition of eco-friendly ships is applied very restrictively, domestic shipping companies are having difficulty in eco-friendly ship certification, and the standards for this need to be changed.
- Need to establish a greenhouse gas monitoring and simulation system.
  - The EU’s ETS surcharge, which has been implemented since 2024, is However, there is a difference of more than 100% in the shipping company.



- 
- Global container carriers are operating GHG monitoring systems, but small and medium-sized carriers may have difficulties in building such systems, so support programs are needed.
  - **Preparation for the deconstruction market.**
  - The Hong Kong Convention will come into effect in 2026, which is likely to lead to a shortage of workshops for decommissioning.
  - There is a possibility that the current scrapping facilities may not be able to handle the replacement of eco-friendly ships, so preparations are needed.

# 01 서론

## 제1절 연구 배경 및 목적

---

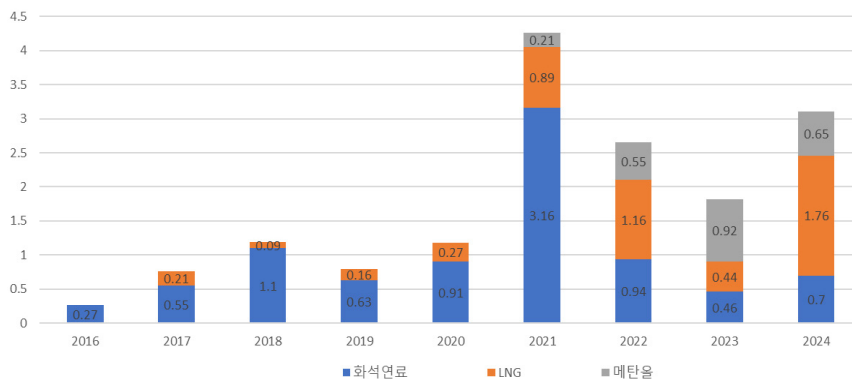
### 1. 연구 배경

IMO는 2023년 개최된 해양환경보호위원회(MEPC: Marine Environmental Protection Committee) 제 80차 회의에서 기존에 채택된 온실가스 감축 초기전략보다 강화된 목표치를 제시했다. 기존 논의에서는 탄소 집약도(CII: Carbon Intensity Indicator)를 2030년까지 2008년 대비 최소 40%, 2050년까지 70% 감축해 2050년까지 온실가스 배출량을 50% 절감하는 것을 목표로 했다. 하지만 80차 회의에서 2040년까지 온실가스 배출량을 최소 70% 감축하며 2050년까지 넷-제로(net-zero) 달성으로 목표를 강화했다.

2013년 에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index) Phase0를 시작으로 선박에 대한 탄소배출 규제가 실시되었으며 2023년부터는 현존선에 대한 탄소배출 규제인 현존선에너지효율지수(EEXI, Energy Efficiency Existing ship Index)가 도입되었다. 해운산업의 강화된 탈탄

소 규제에 의해 대응 방안 논의가 진행 중이다. 선사들은 우선적으로 CII를 기반으로 단위당 탄소배출량을 측정해 감축하는 대응 방식을 취하고 있으나 2026년까지 매년 2%씩 감축해야 하는 부담이 있다. 이를 위해 선사들은 단기적인 출력 제한이나 감속 운항으로 대응하고 있다. 하지만 감속 및 연료 절감 장치는 보조적이고 단기적인 수단이므로 장기적으로 친환경 연료 사용을 통한 선대 교체가 수반될 것으로 예상된다. 실제로 2017년부터 컨테이너 신조시장에서 LNG를 연료로 하는 선박의 발주가 시작되었으며 2022년부터는 LNG, 메탄올 추진선의 신조 발주량이 전통적인 화석연료를 넘어섰다.<sup>1)</sup>

〈그림 1-1〉 컨테이너선 연료별 신조 발주 추이



자료: Alphaliner(2024b), p. 1

컨테이너 해운은 다른 선종에 비해 탈탄소 규제의 영향을 많이 받는 편이다. 컨테이너선대 총 척수는 2023년 기준 약 6,000척으로 세계 총 선대의 5~6%에 불과하다.<sup>2)</sup> 하지만 해운산업 전체 연료 소모량의 25% 이상을 차지하고 있어 탄소배출 규제 정책에 가장 영향을 크게 받는다.<sup>3)</sup>

1) Alphaliner(2024b), p. 1  
 2) Alphaliner(2024c), p. 1  
 3) Ernest et al, p. 2

컨테이너 선사는 국제해사기구(IMO)와 같은 국제기구를 통한 규제뿐만 아니라 해운시장을 구성하고 지원하는 참여자들에 의해서도 탈탄소에 대한 압력이 존재한다. 국제해사기구(IMO)에서 도입한 현존선에너지효율지수, EU의 배출권거래제(ETS)와 같은 탄소배출 규제가 이미 도입·운영되고 있으며, 2025년 Feul EU Maritime, 2026년 GHG Feul Standard와 같은 추가적인 규제가 도입될 예정이다. 해운의 이용자인 화주들도 기업의 직간접 탄소배출 영역이 Scope 1, 2에서 전후방 가치사슬에서 발생한 탄소배출까지 책임져야 하는 Scope 3로 확대되면서 해운 선사들의 친환경 전환에 대해 요구한다. 25개 화주가 참여하는 CCWG(Clean Cargo Working Group)의 경우 매년 항로별로 탄소배출량을 측정해 발표하며 선사 이용자 탄소배출량을 고려해 선사의 친환경 전환에 대한 압력을 행사한다.<sup>4)</sup>

해운시장을 감독하는 기구/기관들과 시장 참여자들이 탈탄소 규제를 실시하거나 모니터링하고 있어 선사뿐만 아니라 이를 이용하는 화주들도 혼란에 빠질 수 있다. 또한 조선, 금융, 정유 등 해운산업의 전후방 산업에서도 탈탄소 규제에 직접적인 영향을 받을 수밖에 없어 향후 시장에 대한 전망의 중요성은 커질 수밖에 없다.

## 2. 연구 목적

이번 연구는 IMO 탈탄소 규제에 맞춰 컨테이너 선대의 교체 수요를 추정·전망하는데 목적이 있다. 탄소배출량 감축이라는 거대한 목표를 위해서 다양한 방안을 생각해볼 수 있다. 첫째, 법 또는 규제를 통해 진행하는 방식이다. IMO를 비롯해 탈탄소를 추진하는 국제기구들이 강제화를 통해 탈탄소 실행을 유도하는 방식과 유사하다. 예로 2024년부터 EU의 ETS와 같

4) bsr 홈페이지(검색일: 2024. 5. 30.)

---

은 제도가 해운에 도입되면서 탈탄소 배출량에 대한 비용을 부담하도록 강제화하는 조치가 시행되고 있다. 둘째, 선사들의 노력을 통한 탄소배출량 감축이다. 운항하는 선박들의 감속과 효율성 향상을 통해 탄소배출량을 낮추는 방안으로 2023년 규제 시행 이후 CII 등급이 D, E인 선박의 감속이 이에 포함된다. 셋째, 신기술을 통한 탄소배출량 감축이다. 암모니아, 수소와 같은 친환경 연료를 사용할 수 있는 기술의 개발과 운항 효율을 높이는 도료나 로터스와 같은 부가 설비 개발 등이 이에 포함된다. 새로운 기술의 도입을 통한 탄소배출량 절감은 해운산업에서 중장기적으로 도입 가능한 방안으로 평가된다.

이번 연구에서는 친환경 선박의 도입에 따라 글로벌 및 국내에서 발생할 수 있는 선박 교체 수요를 추정한다. 이를 위해 현재 진행되고 있는 IMO, EU의 탄소배출 규제를 살펴보고 컨테이너 선대의 교체 수요를 추정한다. 특히 이번 연구에서는 향후 선박금융 수요, 조선사 발주 등에 활용될 수 있도록 세계 컨테이너 선대의 교체 수요뿐만 아니라 국적 컨테이너 선사들이 보유·운영 중인 선대의 교체 수요도 추정한다. 선박 교체 수요 전망을 위해 국적선사들이 현재 보유하고 있는 세부 선대의 자료와 CII 등급 자료를 활용해 선대 운영이 가능 시기를 전망한다. 이를 통해 선박 교체 시기에 대한 정확도를 높이고, 컨테이너 해운산업의 참여자들이 미래 대응 방안에서 활용할 기초 자료를 생성하는 데 중점을 둔다.

## 제2절 연구 내용 및 추진 방법

### 1. 연구 범위 및 주요 내용

본 연구는 2050년까지 컨테이너선대의 탄소배출량을 전망하기 위해 크게 2개의 장으로 구분해 연구를 수행한다. 첫째, 글로벌 컨테이너 선대의 교체 수요를 추정하기 위해 컨테이너 물동량을 전망하고 이를 운송하는 선박에 대한 수요를 추정한다. 컨테이너 물동량 증가에 따른 컨테이너 선대 공급증가분과 친환경 선대 교체 수요를 구분해 글로벌 컨테이너 선대의 신조 발주와 폐선 수요를 추정·전망한다.

둘째, 국적선사의 컨테이너 보유 선대자료를 기반으로 IMO 탄소배출 규제 로드맵에 따른 교체 수요를 상향식(bottom-up)으로 추정·전망한다. 현재 한국해운협회에 등록된 170여개 외항선사의 선대 보유자료와 클락슨의 World Fleet Register를 활용해 국적선사들이 보유한 컨테이너 선대의 세부자료를 활용한다. 국적 선사가 보유한 선대자료를 기반으로 2022년 측정된 CII 자료를 활용해 향후 교체 수요를 추정한다. CII 자료는 개별 선박 별로 부여되며 3년연도 D등급 또는 1년동안 E등급이 부여될 경우 운항계획서인 SEEMP를 제출해야 하기 때문에 선대 교체에 직접적인 영향을 미칠 수 있어 이를 활용해 2050년까지 선대교체 수요를 추정·전망한다.

주요 연구 내용을 살펴보면 제2장에서는 선박 연료소모량과 탄소배출에 관련된 선행연구를 살펴보고, 제3장에서는 세계 컨테이너 수요와 공급을 추정한다. 이후 연식, 속도, 크기 등으로 이용해 2050년까지 컨테이너 선대의 연료소모량을 추정한다. 제4장에서는 CII 등급을 기준으로 국적선대의 교체 수요를 추정했으며, 감속 운항, 바이오연료 사용 등의 시나리오를

---

설정하고 이에 맞춰 CII 등급을 추정·전망했다. 제5장에서는 본 연구의 결론과 시사점을 도출한다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 국내외 문헌조사를 중심으로 연구를 수행한다. IMO의 탄소배출 계획과 관련 연구를 통해 탄소배출에 영향을 미치는 요인을 찾아보았다. 또한 2050년 컨테이너 수요와 공급량 전망을 위해서도 관련 선행연구를 기반으로 실시하였다. 본 연구에서는 선형회귀분석과 분위회귀분석을 통한 분석 외에도 인공지능을 활용한 방법론인 라쏘(Lasso: Least Absolute Shrinkage And Selection Operator regularization), 릿지(Lidge), 엘라스틱넷(Elastic net)을 통해 추정의 강건성을 확보하였다.<sup>5)</sup> 아울러 2050년까지 컨테이너 선박의 탄소배출량을 추정하기 위해 IMO에서 제시한 시나리오 외에 연식, 선속, 바이오연료 사용 등의 다양한 시나리오를 가정해 전망했다.

국적 컨테이너 선대 CII 등급을 추정하기 위해 2022년 기준 CII 자료를 활용해 2050년까지 등급을 추정했다. 이를 위해 현재 2026년까지 제시된 감축률을 2050년 넷-제로를 위한 목표치로 변경해서 적용했다. 또한 감속과 바이오연료 사용에 따른 탄소배출량 감축률을 추정하기 위해 다중 회귀모형을 설계해 적용했다.

---

5) 최건우(2021), p. 2

〈표 1-1〉 연구의 프로세스

연구 흐름	세부 내용	연구 방법
↓	↓	↓
서론	• 연구 개요, 내용 및 연구 차별성	-
↓	↓	↓
선행연구	• 해운산업의 탄소배출량 규제 및 대응 • 컨테이너 수요 및 공급 전망 • 선박 운항에 따른 탄소배출량 추정	• 문헌조사 • 선행연구 검토
↓	↓	↓
해운산업의 탈탄소 규제 및 대응현황	• 국제 기구별 탈탄소 규제 현황(IMO, EU) • 글로벌 컨테이너 선사들의 대응	• 문헌조사 (IMO(2020), Alphaliner(2024), 클락슨 등)
↓	↓	↓
탈탄소 규제에 따른 컨테이너 선대 교체 수요 전망	• 컨테이너 물동량 전망(~2050) - 세계 GDP, GDP와 '컨'물동량 간의 탄력성 • 컨테이너 선대 전망(~2050) - 슬롯(slot) 당 회전율 • 컨테이너선 연료소모량 추정식 - 선속, 크기, EEDI 등 변수 활용 • 컨테이너선 연료 소모량을 활용한 탄소 배출량 전망(~2050)	• 문헌조사 (IMO(2020), IEA(20214), DNV(2023), Alphaliner(2024), McKinsey& Company(2023) 등) • 다중/규제/분위회귀 분석 • 컨테이너 DB활용
↓	↓	↓
국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망	• 컨테이너선대 교체 수요 추정 방법론 - 한계저감비용(MAC), 선령, CII 등 • 국적 컨테이너선대 CII를 활용한 전망 - 국적 선사 CII 등급을 활용한 전망(~2050) - AIS를 활용한 국적선사 선속 추정 • 시나리오를 활용한 교체 수요 전망 - 바이오연료, 감속 등	• 문헌조사 (IMO(2014), IEA(0000), DNV(2023), Alphaliner(0000), McKinsey 등) • AIS를 활용한 국적선사 선속 • 시나리오 설정
↓	↓	↓
결론 및 정책 제언	• 결론 - 연구 기여, 결론 등 • 정책 제언 - 탈탄소 교체에 따른 금융 비용 계산	-



---

## 제3절 선행연구

---

### 1. 기존 연구와 차별성

해운의 탄소배출량에 관한 연구는 탈탄소 배출량 측정, 배출량 저감 방안 등 다양한 방향으로 진행되고 있다. 이 중 IMO에서 5년 주기로 발표하는 GHG Study는 해운산업과 관련된 다양한 시나리오를 통해 온실가스 배출량을 추정했다. 특히 컨테이너를 비롯해 벌크, 탱커 등 거의 모든 상선대에 대해서 시나리오 적용을 통해 탄소배출량을 2050년까지 전망했다. Ahn(2023)의 연구에서는 이번 연구와 연구 범위가 동일한 국적선사의 컨테이너 선대에 대해서 5가지 감축 방안(LNG, 메탄올, 출력제한장치 등) 도입시 CII 등급을 전망했다. 이외에도 de Oliveira 외(2022)의 연구에서는 IMO(2020) 등 이미 발표된 선행연구를 기반으로 온실가스 감축을 위해 한계저감비용(MAC)을 산정했다.

이번 연구는 과거에 발표된 선행연구와 몇 가지 차별점이 있다. 첫째, 2023년까지 발표된 선행연구는 MEPC 79 이전의 가이드라인을 기반으로 작성되었다. 특히 2023년 개최된 MEPC 80에서 2050년 탄소배출량 넷제로(Net-zero)로 강화된 목표를 제시함에 따라 이에 맞춘 선대 교체 수요를 추정한다. 둘째 국적 컨테이너 선대에 대한 상향식(Bottom-up) 방식을 적용해 선령 25년과 같은 기계적인 교체 수요가 아닌 선박의 크기, 연식, 연료소모량 등 다양한 요인을 고려해 교체 수요를 추정한다. 셋째, 글로벌 전체 컨테이너 선대에 대한 탄소배출량을 도출하고 IMO의 규제를 만족시킬 수 있는 평균 교체 비중을 도출해 선박의 발주 뿐만 아니라 폐선에 대한 수요도 동시에 예측한다. 넷째, 선박 발주 수요 예측을 위해 2050년 컨테이너 물동량을 예측하고 회전을 개념을 도입해 향후 시장을 전망한다.

## 2. 선행연구 검토

### 1) 컨테이너 물동량 및 선대 추정 연구

컨테이너 물동량 예측은 시계열 모형을 사용하거나 GDP, 인구 등 거시 경제변수를 활용해 예측할 수 있다. 시계열 모형은 ARIMA, VAR과 같은 모형을 활용하는 방안으로 과거부터 현재까지 추세를 반영할 수 있다는 장점이 있지만 장기 예측 적용시 과대 또는 과소하게 추정될 수 있다는 단점도 있다. 이번 연구에서는 P.W. de Langen(2003)를 비롯해 컨테이너 물동량 예측을 위해 연구된 선행연구에서 활용된 GDP를 활용했다. 다만 GDP와 세계 교역과의 탄력성이 시기별도 변동해 이를 반영해 물동량 예측을 실시한다.

〈표 1-2〉 기간별 세계 교역과 GDP 간의 탄력성

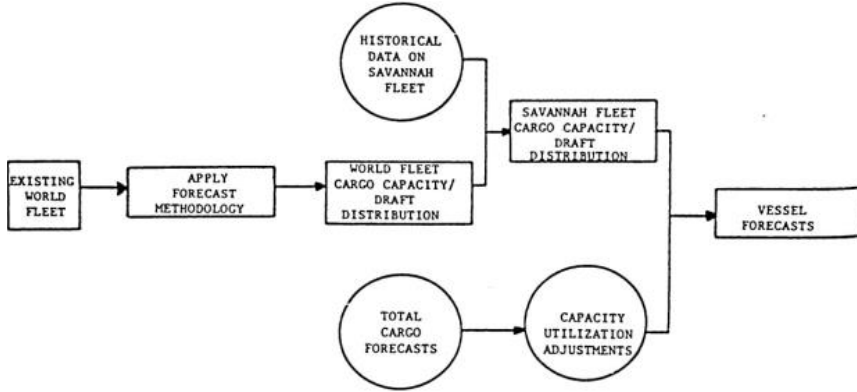
1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	1900-2009	1950-2009
1.62	1.54	1.31	1.19	2.82	1.42	1.64

자료: Fontagné and Fouré(2013), p. 13

Crew(1986)의 연구에서는 〈그림 1-2〉와 같이 하향식(Top-down) 방식으로 남대서양 컨테이너 선대에 대해 예측하였다.<sup>6)</sup> 세계 톤 마일 자료를 이용해 선대배출량을 추정했는데, 이번 연구와 유사한 방식이 적용되었다.

6) Crew(1986), pp. 43-51.

〈그림 1-2〉 컨테이너 선대 전망 프로세스



자료: Crew(1986), p. 48.

## 2) 연료소모량 추정 연구

선박 연료 소모량 추정에 대한 연구는 과거에서부터 진행되었는데 최근에는 인공지능을 이용한 연구가 크게 증가했다. Wang *et al.*(2018)은 연료 소모량 추정을 위해 기후, 선박 길이 등 20개의 변수를 학습시키고, 이를 통해 연료 소모량을 추정했다. 또한 Uyanik, Karatuğ, and Arslanoğlu (2020), Moreira, Vettor, and Guedes Soares(2021), 전미연(2019)의 연구에서도 다양한 머신러닝 기법을 활용했다. 다만 상기 연구들은 선박에 대한 실제 데이터를 이용한 실제 분석 척수는 소수에 그쳤다. 대부분의 연구에서 연료소모량과 선박 크기, 선속 등이 포함되어 있으며 기상여건, 조류 등 외부여건도 고려하는 연구들도 진행되었다.

이번 연구와 가장 유사한 연구는 Le *et al.*(2019)의 연구로 컨테이너선박 100~143척을 분석해 추정식을 도출했다.<sup>7)</sup> 동 연구에서는 〈표 1-3〉과 같이 컨테이너선을 크기별로 구분해 연료소모량 추정식을 도출하였다.

7) Le *et al.*(2019), pp. 1-28.

〈표 1-3〉 선박 속도에 따른 연료소모량

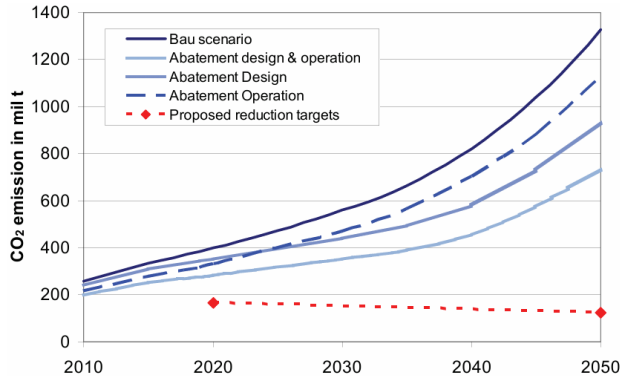
선박 크기	추정식
3,000TEU 미만	$F1 = 0.0072 T_{ijk} S_{1k}^3 + 10.8592 T_{ijk} + \varepsilon$
3,000-5,999	$F1 = 0.0101 T_{ijk} S_{1k}^3 + 20.2406 T_{ijk} + \varepsilon$
6,000-7,999	$F1 = 0.0120 T_{ijk} S_{1k}^3 + 31.938 T_{ijk} + \varepsilon$
8,000-11,999	$F1 = 0.0141 T_{ijk} S_{1k}^3 + 32.1584 T_{ijk} + \varepsilon$
12,000-14,999	$F1 = 0.0180 T_{ijk} S_{1k}^3 + 32.2535 T_{ijk} + \varepsilon$

자료: Le *et al.*(2019), p. 19.

### 3) 탄소배출량 추정 및 대응에 관한 연구

Sames, P. C., & Köpke, M.(2012)는 그 시기에 논의되었던 탄소배출량 감축 목표를 달성 가능한지에 대해 연구했다. 〈그림 1-3〉에서 나타났듯이 연구 결과 2010년 2.6억 톤이었던 탄소배출량이 2050년 13.3억 톤까지 증가할 것으로 예상했다. 선박 설계, 운영 등을 효율화하여 탄소배출량을 감축해도 2050년 기준 연간 6억 톤 이상 배출해 탈탄소 규제를 만족하는 것은 어려운 것으로 전망했다.

〈그림 1-3〉 컨테이너 선대 탄소배출량 전망



자료: Sames, P. C., & Köpke, M. (2012), p. 10.

---

Johansson, Jalkanen, and Kukkonen(2017), Michael Traut *et al.*(2018)의 연구에서는 선박 운항자료를 이용해 탄소배출량을 추정했다. 상기 연구들은 다양한 선종에 적용가능한 배출량을 추정하는 모델을 개발했다. Chang and Chang(2013)의 연구는 선속 감소에 따른 탄소배출량 감축 효과를 추정했는데 14.4노트 벌크선 기준 10% 감속시 19%의 탄소배출량 감축이 가능한 것으로 연구되었다.

해운산업의 탄소배출량에 대한 가장 대표적인 연구는 IMO에서 발표되었고, 선박 유형별 탄소배출량을 시나리오로 계산해 전망하고 있다. 탄소배출량 추정을 기반으로 이에 대한 대응방안에 대해 모색하는 연구들도 진행되고 있다. 대표적으로 Ahn(2023), KunWang, Xiaowen Fu and Meifeng Luo(2015)의 연구들이 있는데 이들 연구에서는 탈탄소를 위해 필요한 핵심 기술들을 소개하고 이에 대한 한계비용을 추정하였다.

## 02

# 해운부문의 탈탄소 규제

### 제1절 글로벌 탄소배출 규제

#### 1. IMO 규제 현황

##### 1) IMO 규제의 주요 내용

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 선박의 온실가스 배출을 줄이기 위해 다양한 시도를 해왔다(〈표 2-1〉, 〈그림 2-1〉).<sup>8)</sup>

〈표 2-1〉 IMO의 규제 변화

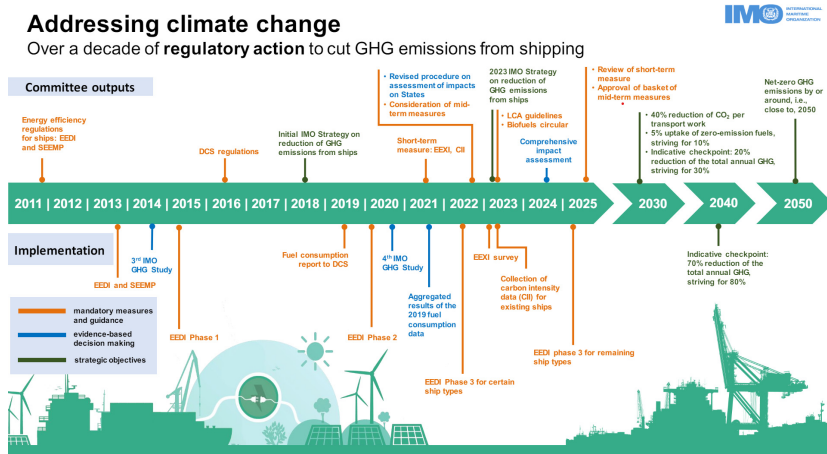
구분	내용
1997	• IMO MARPOL 부속서VI(선박으로부터 대기오염방지협약) 채택 • 2005년부터 선박 연료유의 황함유량 기준에 관한 규제 발효 시작
2005	• 황산화물(SOx) 규제 시작 • 선박 연료유의 황함유량 4.5% 기준으로 시작, 2012년부터 3.5% 기준 적용
2011	• 신조선의 '에너지 효율 설계 지수(EEDI)' 채택 2013년 발효 • 에너지 효율 관리 계획(SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan) 규정 채택 2013년에 발효

8) 해양수산부(2023), 보도자료, [https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?bbsSeq=10&docSeq=52282&menuSeq=971&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?bbsSeq=10&docSeq=52282&menuSeq=971&utm_source=chatgpt.com)(검색일: 2024.10.10.)

구분	내용
2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>EEDI 규제 발효</li> <li>총톤수 400톤 이상 국제 항해 중사 선박 신조선 대상</li> <li>모든 선박을 대상으로 에너지 효율 관리계획(SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan)을 선박에 비치하도록 함</li> </ul>
2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>IMO MEPC 제72차 초기 전략 채택(IMO Initial Strategy): 2050년의 해운부문의 온실가스 총배출량 2008년 대비 50% 감축 목표</li> <li>현존선을 대상으로 하는 선박탄소집약도지수(CII) 제도 마련</li> </ul>
2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>황산화물 규제 강화</li> <li>선박 연료유 황함유량 기준을 0.5%로 상향</li> </ul>
2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>제76차 MPEC에서 MARPOL 부속서 VI 개정안 채택</li> <li>: 적용 대상 신조선에서 현존선으로 확대하고 2022년 11월부터 에너지 효율 지수(EEXI), 탄소집약도지수(CII) 발효</li> </ul>
2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>IMO 2023 온실가스 감축전략 채택: 2050년 해운분야의 온실가스 총배출량을 넷제로 달성, 탄소중립(넷-제로) 선언</li> <li>- 국제 해운 온실가스 총배출량 2008년 대비 100%로 상향 조정</li> <li>EEXI 시행</li> </ul>
2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>CII 등급 부여</li> </ul>

자료: 삼일회계법인(2024), pp.6~16과 KORIES(검색일: 2024.10.10.) 내용을 바탕으로 저자 재작성

〈그림 2-1〉 IMO 선박온실가스 감축 전략 로드맵



자료: IMO(2024), Hot Topics, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>(검색일: 2024.10.10.)

1997년 국제협약인 MARPOL 부속서 VI에서 처음으로 선박의 대기오염물질 배출에 대해 규제하는 내용이 채택되었으며 해당 협약은 2005년에 발효되었다.<sup>9)</sup> 협약의 부속서에서는 일반 해역에서 운항하는 선박의 연료유 황 함유량 기준을 2011년까지 4.5%를 적용한 뒤 2019년까지 3.5%, 2020년부터는 0.5%로 강화하도록 규정했다. 2020년 1월 1일부터 선박 연료유의 황 함유량 기준을 0.5%로 상향 조정하는 규제가 발효됨에 따라 선사는 스크러버 설치, 저유황유 사용, 저속운항, 친환경 선박 발주 등을 통해 대응했으나, 이러한 노력은 탄소 저감을 위한 근본적인 해결책으로 이어지지 못했다.<sup>10)11)</sup> 이에 IMO는 2023년에 'IMO 2023 온실가스 감축 전략'을 채택하여 2008년 대비 2050년의 해운 부분의 온실가스를 100% 줄이겠다는 탄소 중립 목표를 선언하였다(〈그림 2-2〉).<sup>12)</sup>

같은 해 1월 1일부터는 선박의 에너지 효율을 측정하고 선박의 탄소집약 지수(CII)를 산출하여 등급을 보고하기 위한 데이터 수집을 강제화했다.<sup>13)</sup> 2024년에는 최근 1년간의 선박 데이터를 활용하여 처음으로 CII 등급이 선박에 부여되었다. 선박은 E등급을 받거나 3년 연속으로 C등급을 받으면 에너지효율관리계획(SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan)을 제출해야 한다. 계획을 제출했음에도 불구하고 개선되지 않을 때는 운항이 중단되거나 선박의 폐선까지 고려될 수 있다.

9) 대한석유협회, 석유와 에너지, <http://oil2.petroileum.or.kr/sub01/01.php?mode=read&id=2080> (검색일: 2024.10.10.)

10) POSCO Products, 미디어, <https://www.posco.co.kr/homepage/product/kor/jsp/news/s91w4000120v.jsp?SEQ=251>(검색일: 2024.10.10.)

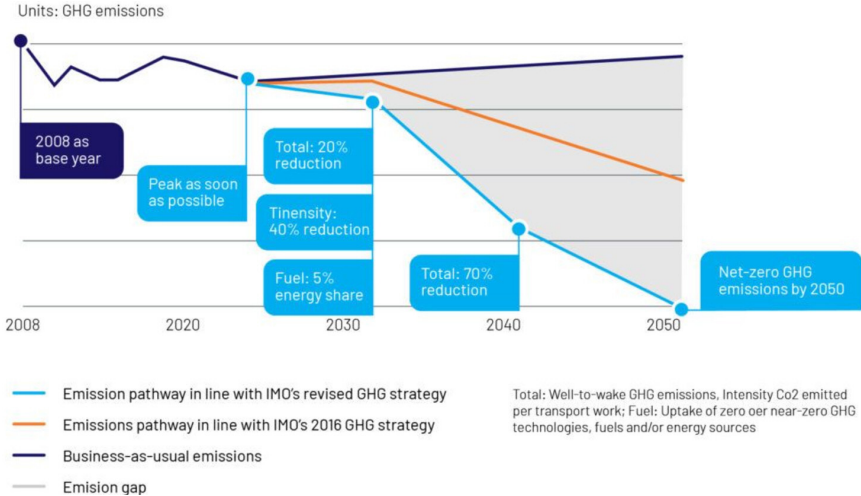
11) 삼일회계법인(2024), p.6

12) 해양수산부(2023), 보도자료, [https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?bbsSeq=10&docSeq=52282&menuSeq=971&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?bbsSeq=10&docSeq=52282&menuSeq=971&utm_source=chatgpt.com)(검색일: 2024.10.10.)

13) 한국해양공단(2023), 보도자료, [https://www.komsa.or.kr/bbs/BBSMSTR\\_000000000744/view.do?mno=sub06\\_0101&nttId=B000000022484Ng9aR3&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.komsa.or.kr/bbs/BBSMSTR_000000000744/view.do?mno=sub06_0101&nttId=B000000022484Ng9aR3&utm_source=chatgpt.com) (검색일: 2024.10.10.)



〈그림 2-2〉 IMO 온실가스 감축 목표



자료: PierNext(2024), <https://piernext.portdebarcelona.cat/en/logistics/the-course-of-regulations-to-decarbonise-the-maritime-sector-imo-eu-us-and-chinas-strategies/>(검색일: 2024.10.10.)

## 2) IMO의 주요 지표

IMO는 선박의 대기오염물질을 관리함으로써 국제 해운 부문의 온실가스 총배출량을 줄이고자 에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index), 선박탄소집약도지수(CII, Carbon IntensityIndicator), 현존선에너지효율지수(EEXI, Energy Efficiency Existing Ship Index), 에너지효율관리계획(SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan) 과 에너지효율운영지수(EEOI, Energy Efficiency Operational Indicator)의 다양한 지표를 해운 부문에 도입하여 선박의 건조 단계부터 체계적으로 선박의 대기오염물질 배출을 관리하고자 목표하고 있다. 이 같은 지표는 〈표 2-1〉에서 보는 바와 같이 기술적 조치와 운항적 조치로 구분된다.

〈표 2-2〉 IMO의 온실가스 배출 저감을 위한 규제

구분	내용
기술적 조치	에너지효율설계지수(EEDI) • EEDI는 신조선의 예상 CO2 배출량 계산 • 선박의 배출허용기준을 초과하는 경우에는 인도 및 취항 금지 • 강제 요건
운항적 조치	• EEOI와 SEEMP는 현조선에 대해 선박의 에너지 효율을 향상시키고 자 계획서(SEEMP)를 작성하여 실행

자료: KR Technical Information(2012), p. 1

(1) EEDI

2013년 1월 1일 이후 총톤수 400톤 이상의 신조 선박에 EEDI가 적용되었다. EEDI는 건조 단계에서부터 선박에서 배출되는 온실가스 배출량을 추정하고 평가하기 위한 기준으로 사용되었으며, EEDI를 산출하는 방법은 아래의 식과 같다.<sup>14)</sup>

$$\frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{(i)} C_{F(i)} SFC_{(i)} \right)}{Capacity V_{ref}} = \frac{Engine\ Power(kW) \times SFC(g/kWh) \times C_F}{Capacity(DWT) \times Speed(kt)} \quad 15)$$

여기서,

- $P$  : 엔진 출력(kw)
- $C_F$  : 연료에 대한 CO2 환산계수
- $SFC$  : 연료소모량
- $Capacity$  : 재화중량(DWT)
- $V_{ref}$  : 선박속도(nm/h)

14) KR Technical Information(2012), p.1

15) KR Technical Information(2012), p.1

EEDI 기준 충족 여부는 'EEDI의 달성치(Attained EEDI)'와 'EEDI의 허용치(Required EEDI)'를 비교하여 판단된다. 선박의 달성치가 허용치보다 낮아야 운항이 가능하며, 이 조건을 충족하지 못한 선박은 운항이 허용되지 않는다.<sup>16)</sup>

$$\begin{aligned} \text{attained EEDI} &\leq \text{Required EEDI} \\ &= (1 - X/100) \times \text{base line} \end{aligned}$$

$$\text{base line} = a(\text{Capacity})^{-c}$$

## (2) EEOI

EEOI는 자발적인 요건으로 현존선에서 실제로 배출되는 이산화탄소 배출량을 계산하기 위해 개발되었다.<sup>17)</sup> 아래는 EEOI를 계산하는데 사용되는 수식이다.<sup>18)</sup>

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{\text{cargo}} \times D}$$

$$\text{Average EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{\text{cargo},i} \times D_i)}$$

여기서,

- $i$  : 항차수
- $j$  : 연료사양

16) KR Technical Information(2012), p.3

17) KR Technical Information(2012), p.5

18) KR Technical Information(2012), p.6

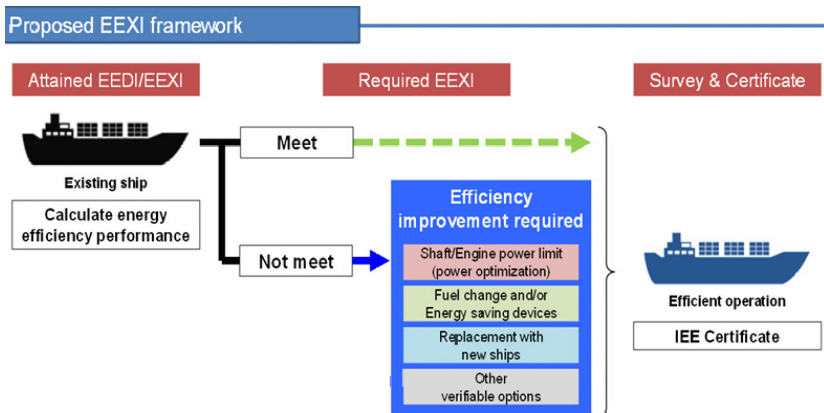
- FC : 연료소모량
- $C_{Fj}$  : 연료에 대한 CO2 환산계수  
MEPC.1/Circ.684에서 정의됨
- $m_{cargo}$  : 화물양(tonne, TEU)
- D : 항해거리(nm)

(3) 현존선 에너지효율지수(EEXI)

EEXI는 2023년 1월 1일부터 총톤수 400톤 이상의 현존선과 신조선을 대상으로 선박의 탄소배출량을 추정하고 평가하는 기준으로 도입되었다. EEXI는 EEDI와 동일한 수식을 이용하여 선박의 이산화탄소 배출량을 계산하지만 규제 범위가 신조선에서 현존선으로 확대되었다는 점에서 차이가 있다.<sup>19)</sup>

$$EEXI = \frac{CO_2 \text{ 배출량}}{Capacity \times EEXI \text{ Speed}}$$

〈그림 2-3〉 IMO의 EEXI



자료: IMO(2021), p.14

19) 삼일회계법인(2024), p.12

---

EEXI가 허용값을 충족해야 국제에너지효율증서(IEEC, International Energy Efficiency Certificate)를 발급받을 수 있으며, 해당 증서를 선박에 비치해야만 운항이 가능하다. 기준을 충족하지 못한 선박은 선박의 에너지 효율성을 향상시키기 위한 조치를 취해야 한다. 이를 이행하지 않을 경우 선박의 운항이 제한될 수 있다(<그림 2-1>).<sup>20)</sup>

#### (4) 탄소집약도(CII)

2023년 1월 1일부터 적용된 CII는 국제 항해에 종사하는 총톤수 5천 톤 이상의 현존선과 신조선에 적용된다. CII는 선박의 1년 간 운항 정보를 활용하여 탄소 배출량을 지표한 결과이다. 측정된 결과에서 CII 허용값 대비 달성 값에 따라 A등급부터 E등급까지 5단계의 등급이 선박에 부여된다.<sup>21)</sup> CII는 운항 후 실제 운항 정보를 기반으로 산출된다는 점에서 운항 전 선박 제원을 바탕으로 계산되는 EEXI와 차별화된다. D 등급을 3회 연속으로 받거나 E 등급을 1회 이상 받은 선박은 에너지 효율을 개선하기 위한 저속 운항, 대체 연료 사용 등의 개선 방안을 포함한 SEEMP를 수립하고, 이를 선박의 검사기관을 통해 승인받아야 한다. 해당 계획을 승인 받을 때까지 선박의 운항이 제한된다.<sup>22)</sup>

$$CII = \frac{\text{연간 } CO_2 \text{ 배출량}}{\text{Capacity} \times \text{연간이동거리}}$$

---

20) 삼일회계법인(2024), p.12

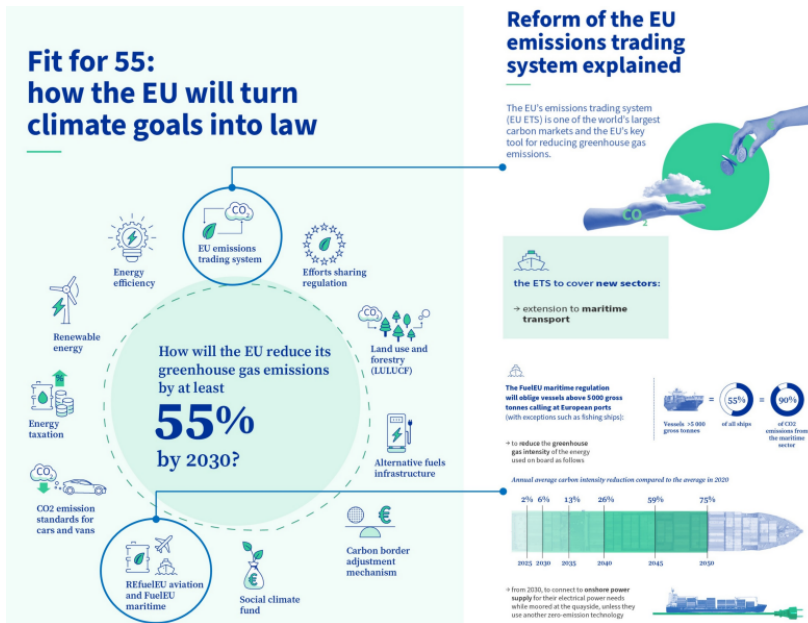
21) 삼일회계법인(2024), p.9

22) 삼일회계법인(2024), p.12

## 2. EU

유럽연합(European Union, 이하 EU)은 2050년까지 유럽을 최초의 탄소 중립 대륙으로 만들겠다는 목표를 발표하며 IMO의 강화된 친환경 규제에 가세하기 시작했다. 2021년 7월, 유럽 집행위원회(European Commission, 이하 EC)는 온실가스 저감을 위한 노력의 일환으로 ‘EU Fit for 55’ 패키지 법안을 발표했다.<sup>23)</sup>

〈그림 2-4〉 EU Fit for 55 패키지 주요 구성



자료: 자료: EC(검색일: 2024.5.1.)

‘Fit for 55’ 패키지는 1990년 배출량 수준 대비 2030년까지 온실가스 배출량을 55% 감축하기 위한 입법안 패키지로, 가격 설정 관련 입법안 4

23) EC(검색일: 2024.5.1.)

개, 감축 목표 설정 관련 입법안 4개, 규정강화 관련 입법안 4개와 포용적 전환을 위한 지원대책인 사회기후기금으로 구성되어 있다.<sup>24)</sup> 이 중 글로벌 해운산업과 직접적으로 연관된 항목으로는 유럽탄소 배출권 거래제도 (Emissions Trading System, 이하 EU ETS)와 해상연료 기준(FuelEU Maritime)이 있다.

〈표 2-3〉 EU Fit for 55 개요

목표	유럽 그린딜(2019년. 12월) → 2050년 탄소중립 달성	
이행방안	Fit for 55(2021년, 7월) → 2030년까지 배출량을 1990년 수준 대비 55% 감축(13개 법안)	
Fit for 55 위한 13개 이행방안		
가격설정	목표 설정	규정강화
1. 항공분야 배출권 거래제 강화 2. 해상운송, 육상운송, 건축물 분야 배출권 거래제 신설 3. 에너지조세지침 개정 4. 탄소국경조정제도 도입	5. 노력분담 규정 개정 6. 토지이용, 토지이용변화 및 삼림 규정 개정 7. 재생에너지지침 개정 8. 에너지효율지침 개정	9. 승용차 및 승합차 탄소배출 규제 기준 강화 10. 대체연료 인프라규정 개정 11. 항공운송 연료 기준 마련 12. 해상운송 연료 기준 마련
지원대책		
13. 사회기후기금(Social Climate Fund) 신설		

자료: EC(검색일: 2024.5.1.)

## 1) EU ETS(해운 부문)

EU는 2024년 1월 1일부터 해운산업 부문을 EU ETS에 포함했다. ETS는 온실가스 배출량에 대한 권리를 배출권으로 사거나 파는 등 매매 거래를 할 수 있는 제도를 의미한다. EU ETS는 2005년 육상운송업, 2012년 항공산업 분야에 이미 적용되어 왔다. 배출허용량 대비 적은 양을 배출한 경우에는 남은 배출권을 판매할 수 있으며, 배출허용량보다 많은 양을 배출했을 시에는 부족한 배출권을 추가 구매하여 허용배출량에 대한 목표를

24) 심소연(2022), p.3

달성하는 구조를 지닌다.<sup>25)</sup> 배출허용량 대비 적은 양을 배출한 경우에는 남은 배출권을 판매할 수 있으며, 배출허용량보다 많은 양을 배출했을 시에는 부족한 배출권을 추가 구매하여 허용배출량에 대한 목표를 달성하는 구조이다.

해운산업 분야의 ETS 도입으로 인해 선박 기국(Flag)과 무관하게 유럽경제제지역(European Economic Area, 이하 EU EEA) 관할 구역 내 항만에 기항하며 총톤수 5,000톤을 초과하는 선박은 2024년 1월 1일부터 연간 기준으로 EU MRV(Monitoring, Reporting and Verification) 항차에서 배출한 GHG량에 해당하는 배출권을 구매하여 관리 당국(Administering Authority)에 의무적으로 제출해야 한다.<sup>26)</sup>

〈그림 2-5〉 EU ETS 규제 이행을 위한 연대표



자료: KR(검색일: 2024.5.1.)

EU의 ETS 규제 이행 연대표에 따르면 2024년 4월 1일까지 모니터링계획서(Monitoring Plan, MP)를 개정하여, 검증기관에 재승인을 받은 후 관리당국에 제출해야 한다. 이후 2024년 1월 1일부터 12월 31일(매년)까지, 수행하는 EU MRV 항차에 대해 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)를 포함한 온실가스 배출량을 모니터링해야 한다. 또한 매년

25) EC(검색일: 2024.5.15.)

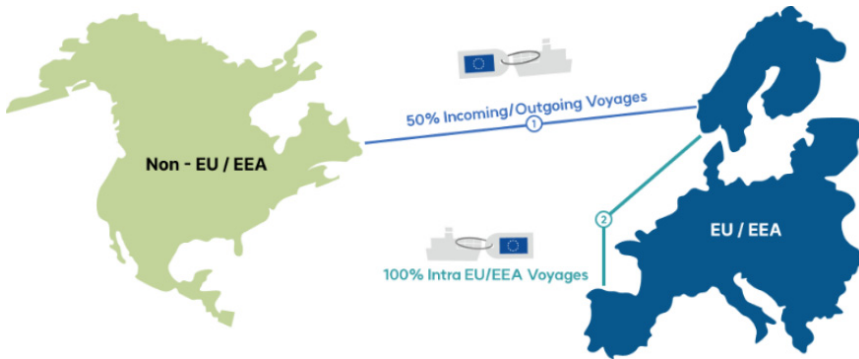
26) KR TECHNICAL INFORMATION(2024.2.1.), p. 2



2025년 3월 31일까지 선사는 관리당국에 인증 기관으로부터 검증된 각 선박과 회사 차원의 배출량 보고서를 제출해야 한다. 이에 더해 EU ETS 규정에 근거하여 매년 2025년 9월 30일까지 온실가스 배출량에 해당하는 배출권을 구매하여 당국에 제출해야 한다.<sup>27)</sup>

EU EEA에 기항하는 총톤수 5,000톤 초과 화물 또는 여객을 운송하는 선박은 모두 EU-ETS의 적용대상이 된다. 2027년 이후부터는 5,000톤 이상의 해양지원선(Offshore service vessel)에도 적용될 예정이다.<sup>28)</sup>

〈그림 2-6〉 EU EEA 권역별 EU ETS에 적용되는 온실가스 배출량 적용 비율



자료: KR(검색일: 2024.5.1.)

해운산업 분야의 EU ETS는 기존 운송사업들과는 다른 배출권 기준을 적용한다. EU EEA 해역 내 선박 운항으로 발생하는 GHG의 100%, EU EEA 해역 외 항만 또는 EU EEA 해역 외 항만으로의 운항이 발생한 경우에는 발생한 GHG의 50%에 해당하는 배출권만 구매하면 된다.

27) European Maritime Safety Agency(검색일: 2024.5.1.)

28) DNV(검색일: 2024.5.1.)

〈표 2-4〉 EU MRV 항차별 EU ETS에 적용되는 온실가스 배출량 적용 비율

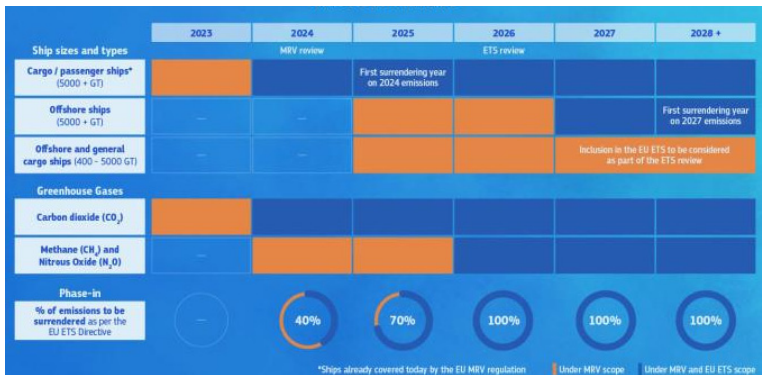
항차별 구분	기준
EU EEA 회원국 ↔ EU/EEA 비 회원국 기항지 사이의 항차 (Extra-EU voyage)	배출량의 50%
EU EEA 회원국 ↔ EU/EEA 회원국 기항지 사이의 항차 (Intra-EU voyage)	배출량의 100%
EU EEA 회원국 항만 내 배출량(Within EU ports)	배출량의 100%

자료: EU(검색일: 2024.5.1.)

현재 EU ETS에서 규제하고 있는 GHG는 CO2(이산화탄소)로 제한하고 있으나 2026년부터는 CO2뿐만 아니라 CH4(메탄), N2O(아산화질소)도 규제 대상 GHG에 포함되어 해당하는 모든 배출량을 산정하게 된다.<sup>29)</sup>

한편 EU에서는 2024년 1월 1일을 기점으로 초기 2년 동안은 배출권 제출 범위를 단계적으로 적용하기로 결정했다. 따라서 2024년에는 전체 CO2 배출량의 40%, 2025년은 전체 CO2 배출량의 70%를 적용하여 산정하게 된다.<sup>30)</sup>

〈그림 2-7〉 EU ETS EXTENSION TO MARITIME TRANSPORT



자료: EC(검색일: 2024.5.15.)

29) European Maritime Safety Agency(검색일: 2024.5.15.)

30) EC(검색일: 2024.5.15.)

---

EU ETS 및 EU MRV의 책임 주체는 해운선사(Shipping Company)로 명시되어 있다. 이때 해운선사의 범위로는 등록 소유자(Registered Owner)<sup>31)</sup> 또는 등록 소유자로부터 선박 운영에 대한 책임을 인수한 관리사(ISM Company)나 나용선자 등의 다른 조직 또는 개인까지 포함할 수 있다.<sup>32)</sup> 더불어 이러한 책임을 이행하면서 유럽 의회(European Parliament, 이하 EP) 및 EC 336/2006 Annex I에 명시된 선박의 안전 운영 및 오염 방지를 위한 국제관리 규정에 의해 부과된 모든 의무와 책임을 이행하기로 동의한 경우로 정의한다.<sup>33)</sup>

이는 곧 EU ETS, MRV 규정에서의 책임 주체가 선박 등록 소유자뿐만 아니라 해당 선박을 관리하는 선박 관리회사가 될 수도 있다는 것을 의미한다. EU ETS와 MRV 규정에 의하면 규정 이행에 대한 책임 주체는 동일해야 하므로 등록소유자와 관리사는 규정을 준수할 적절한 주체를 결정해야 한다.

## 2) FuelEU Maritime

2025년부터 시행 예정인 FuelEU Maritime(유럽연합이사회 해운연료 개편안)은 해운분야에서 재생 가능한 연료 또는 저탄소 연료 사용에 대한 새로운 규정 마련을 위해 시작된 입법안이다. EU 내 항만에 기항하는 선박 온실가스 집약도 제한을 2050년까지 점진적으로 강화하여 친환경 선박 연료 수요를 확대하겠다는 것이 해당 법안의 주요 골자이다. 현재 유럽연합 집행위원회(EC)에서 채택되었으며 2025년 1월부터 완전히 발효되나, 2024년 8월 31일부터 일부 요구사항이 우선적으로 시행된다.<sup>34)</sup>

---

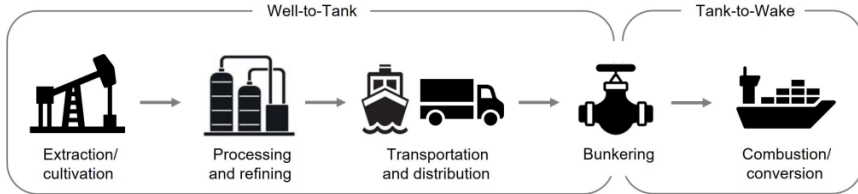
31) 선박 국제증서 상에 기재된 등록 소유자를 의미하며, IMO 고유 회사 및 등록 소유자 식별 번호(IMO Unique Company and Registered Owner Identification Number)를 할당받음.

32) CLASS NK(2024.1.), p.5.

33) EC(검색일: 2024.5.15.)

온실가스 집약도는 연료가 생산되는 과정부터 공급되는 과정까지의 배출량(Well-to-Tank, 이하 WtT)과 연료 사용과정에서의 배출량(Tank-to-Wake, 이하 TtW)을 전부 포함하는 연료의 전 과정 배출량(Well-to-Wake, 이하 WtW) 기준으로 산정된 온실가스 배출 비율을 나타낸다.

〈그림 2-8〉 연료의 Well-to-Wake 기반 온실가스 배출량 산정



자료: European Parliament(검색일: 2024.6.1.)

온실가스 집약도 기준치 대비 집약도가 높은 연료를 사용한 경우에는 〈표 2-7〉의 페널티 산정방식에 따라 결손금(Deficit)이 발생하게 되며, 집약도가 낮은 연료를 사용한 경우에는 잉여금(Surplus)이 발생한다.<sup>35)</sup> 온실가스 집약도 기준치는 2020년 EU MRV 데이터를 기준치로 2025년부터 5년 단위로 점차 강화된다.<sup>36)</sup>

〈표 2-5〉 FuelEU Maritime 페널티 산정 방식

항목	내용
Penalty	$\text{Penalty} = (- \text{compliance balance}) / \text{GHGI}_{\text{actual}} / (\text{LCVLSFO} * 1000 * 4500 \text{€} / \text{t})$ <p>Where:  <math>\text{LCVLSFO} = 41.0 \text{MJ} / \text{kg}</math></p>

자료: European Parliament(검색일: 2024.05.15.)

34) DNV(검색일: 2024.5.15.)

35) KR(검색일: 2024.5.15.)

36) European Parliament(검색일: 2024.5.15.)

FuelEU Maritime은 해운분야를 2030 및 2050년에 대한 EU 기후 목표에 맞추기 위한 것으로 선박이 연소하는 연료의 온실가스 집약도를 단계적으로 저감하여 재생 가능 및 저탄소 연료사용을 확대하기 위함이다. FuelEU Maritime의 규정에는 재생 가능 연료에 대한 인센티브, 인증 시 화석 연료 제외, 항만에 기항한 선박에 대한 육상전력 공급, 규정 준수를 위한 자발적 배선(pooling), 외곽 지역 및 군소도서에 대한 예외, 위원회의 모니터링을 통한 탈탄소화 프로젝트 수익 할당 등과 같은 조항이 포함된다.<sup>37)</sup>

#### 〈표 2-6〉 FuelEU Maritime 주요 조항 상세내용

- 해운분야에서 사용하는 연료의 온실가스 집약도를 단계적으로 감소할 수 있도록 조치
- 탈탄소화 잠재력이 높은 비생물계 재생에너지 연료(RFNBO, Renewable Fuels of Non-Biological Origin) 활용 촉진 위한 특별 인센티브 제도 도입
- 규정 인증 프로세스에서 화석연료 제외
- 2030년부터 주요 EU 항만 내 2시간 이상 정박하는 컨테이너선, 여객선 등 상용선박은 정박 시 모든 전기 수요에 대한 육상 전원 공급 장치 및 무배출 발전시설 의무 사용
- 선박이 한 척 이상의 다른 선박과 규정을 준수하며 균형을 이룰 수 있는 자발적인 풀링 메커니즘 유지, 이 때 풀은 전체적으로 온실가스 집약도 제한을 충족
- 외곽 지역, 군소도서 및 경제적으로 연결성에 의존하는 지역들의 처리 기한 예외
- 규정 시행으로 발생하는 수익(FuelEU Penalty)는 투명성 메커니즘 강화로 해운분야 탈탄소화 지원 프로젝트에 사용
- 위원회의 보고 및 검토 과정을 통한 규정 이행 모니터링 시행

자료: EC(검색일: 2024.6.1.)

탄소배출량 저감 목표는 추진 시 사용된 에너지를 포함한 선박 내 모든 에너지사용량을 기본으로 산정하며 기준은 2020년 평균 배출량인 91.16g CO<sub>2</sub>/MJ이다. 또한 온실가스 집약도 제한 목표치는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소를 포함한 탄소배출량을 2030년 -6%, 2035년 -14.5%, 2040년 -31%, 2045년 -62%, 2050년 -80%으로 설정할 것으로 파악되었다.<sup>38)</sup>

37) EC(검색일: 2024.6.1.)

38) S&P global(2023.3.25.)(검색일: 2024.6.1.)

특히 RFNBO로 분류된 연료를 사용하는 경우에는 인센티브 제공 외에도 추가 자본 비용과 위험도를 감안하여 2035년부터 10년 동안 탄소배출량 저감 정도를 두 번 계산할 수 있는데 이는 결과에 따라 표준 보상 대비 2배 이상의 보상이 가능하다. 이는 의회가 “미래 수요를 맞출 수 있는 성장 잠재력을 지닌 가장 지속가능하고 혁신적인 연료 기술의 초기 시장 개발 및 배치 장려를 위해 RFNBO 전용 인센티브가 필요하다”고 강조했다기 때문이다. 이사회 또한 “단기 및 중기적으로 RFNBO의 생산 비용이 상당히 높다는 점에서 투자를 지원하는 수요를 어느 정도 보장하는 것이 중요하다”고 언급하며 RFNBO의 사용을 장려하고 있다.<sup>39)</sup>

현재 FuelEU Maritime은 총톤수 최소 5,000톤 이상인 EU 등록 대형 선박에만 적용될 예정이나, 2028년 소형 선박과 국제등록 선박까지 확대하는 것을 검토할 예정으로 향후 규제 적용대상이 확대될 가능성이 높다. 또한 해당 안에는 2034년까지 선박용 연료 믹스의 1%를 수소 기반 연료로 채운다는 목표를 설정하였으며, 목표를 미달성할 것으로 예측되는 경우에는 2031년 수소 기반 연료 점유율을 2%로 상향한다는 내용도 포함된 것으로 알려졌다. 이는 수소 기반 연료 사용을 독려하는 조항이 필요하다는 유럽의회의 의견이 반영된 것이다.<sup>40)</sup>

EC는 FuelEU Maritime이 선박 운항자와 연료생산자에게 법적 확실성 제공 및 지속 가능한 해상연료의 대규모 생산을 독려하고, 유럽과 글로벌 수준의 실질적인 기후 목표 달성에 기여할 것으로 밝혔다.<sup>41)</sup>

이와 같은 강력한 규제 시행으로 향후 해운업계는 LNG, 수소에너지로의 연료 전환, 연료 소비 절감을 위한 저속운항(slow-steam), 엔진개조 등 규정을 준수하기 위해 적극적으로 기술 개발에 나설 것으로 전망된다.

39) European Parliament(검색일: 2024.6.1.)

40) REGULATION (EU) 2023/1805(검색일: 2024.6.1.)

41) EC(검색일: 2024.6.1.)

## 제2절 탈탄소 규제에 따른 컨테이너 선사들의 대응

### 1. 탈탄소 규제 동향

국제해사기구(IMO)는 2012년 선박에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)를 시작으로 2023년 현존선에너지효율지수(EEXI, Energy Efficiency Existing ship Index)와 탄소집약도(CII, Carbon Intensity Indicator)를 통해 탄소배출에 대해 규제를 실시했다. EU는 2024년부터 해운산업에 대해 배출권 거래제(ETS)를 도입·운영해 실질적으로 EU 내에 입항하는 선박은 탄소배출권을 구입해야 한다. 또한 2025년부터는 해운에서 친환경 연료 사용을 늘려 EU의 기후 목표를 맞추기 위한 FuelEU Maritime이 실시될 예정이다. 이외에도 2026년부터는 GHG Fuel Standard와 탄소세와 배출권 거래제와 같은 시장기반 조치가 실시될 예정이다.

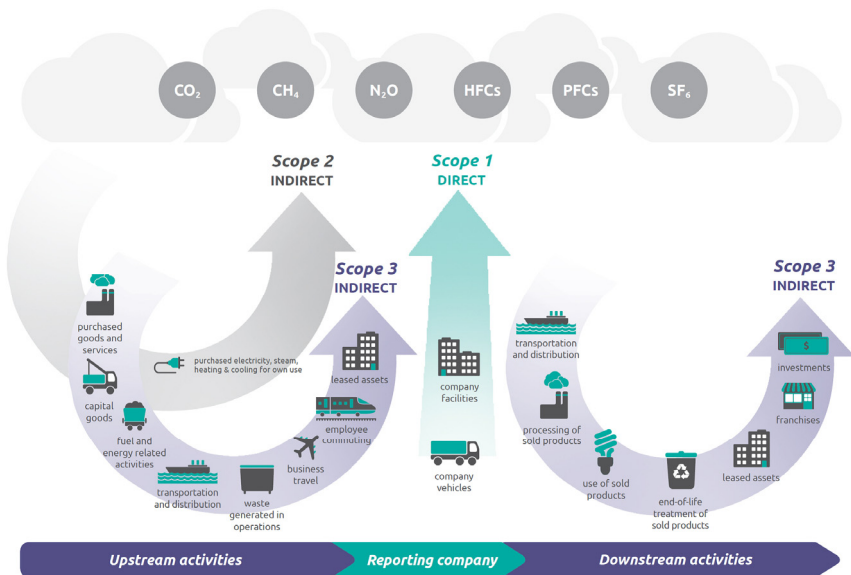
〈표 2-7〉 온실가스 규제 현황

구분	주관	시행일	관리포인트	규제온실가스	온실가스 산정원칙
EEDI	IMO	2012	설계상 에너지효율	CO <sub>2</sub>	Tank to Wake
EEXI	IMO	2023	설계상 에너지효율	CO <sub>2</sub>	Tank to Wake
CII	IMO	2023	실제 에너지효율	CO <sub>2</sub>	Tank to Wake
EU-ETS	EU	2024	연료소모량	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub>	Tank to Wake
FuelEU Maritime	EU	2025	대체연료 비율	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub>	Well to Wake
GHG Fuel Standard	IMO	2026 이후	대체연료 비율	CO <sub>2</sub> +(미정)	Well to Wake(미정)
시장기반조치	IMO	2026 이후	연료 소모량	CO <sub>2</sub> +(미정)	Tank to Wake(미정)

자료: 김영선(2024), 해운선사 녹색해운항로 구축전략, p.4. ,Mac-net 세미나 발표자료

국제기구, 정부 외에 화주를 중심으로 시장에서 해운기업에 대한 탈탄소에 대한 압력을 행사하고 있다. 기업의 규모, 나라에 따라 적용 시기에 차이는 있지만 Scope3 카테고리에 포함된 15개 항목 중 운송·유통이 포함되어 중간재, 최종재를 운송하는 컨테이너 해운은 대비가 필요하다. 이케아(IKEA), 엡슨(EPSON), DHL, 퀴네앤드나겔(Kuehne+Nagel) 등 화주, 물류기업은 선사에 친환경 전환에 대한 별도의 평가를 통해 선사를 선택하고 있다. 특히 25개 화주기업과 17개 컨테이너 선사들이 참여하는 CCWG(Clean Cargo Working Group)은 매년 항로/선사별 탄소배출량을 측정해서 발표해서 선사들을 평가하고 있다.

〈그림 2-9〉 온실가스 배출 범위(scope1/2/3)



자료: epa 홈페이지(검색일: 2024.10.10.)

이 외에도 금융 기관이 선박금융에서 기후변화 변수를 고려하기로 한 포세이돈 원칙(Poseidon Principles)이 실시되면서 해운선사들은 친환경 선



---

박 발주 압력을 받는 상황이다.<sup>42)</sup> 또한 Getting To Zero Coalition, Green shipping Corridor, First Mover Coalition 등과 같은 해운 산업 탈탄소화를 가속화하기 위한 연합 기구가 설립되어 운영 중이다. 이들 기구 대부분은 2030년 이전까지 상업적 규모의 완전 무탄소 선박을 컨테이너 서비스에 투입해 운영할 계획이다.

## 2. 글로벌 컨테이너 선사들의 탈탄소 추진 방향

컨테이너 선사들은 IMO를 비롯한 국제기구, 정부의 탈탄소 로드맵에 맞춰 2040~2060년까지 넷-제로 달성을 위한 전략을 세우고 실행한다. 특히 머스크(Maersk)는 글로벌 컨테이너 선사 중 가장 공격적인 목표를 설정해 2040년까지 넷-제로를 목표하는 계획을 수립했다. 하팍로이드(Hapag-Lloyd)까지 2045년까지 COSCO를 제외한 대부분의 선사들은 2050년까지 넷-제로를 달성하겠다는 계획이다.

컨테이너 선사들은 탈탄소 전환을 위해 기금을 만들거나 선체를 개조한다. CMA CGM은 100척의 컨테이너선 구상선수에 벌브(bulb)를 장착해 효율을 높일 계획이다.<sup>43)</sup> 또한 동사는 프랑스 투자은행인 Bpifrance와 함께 2억 유로 규모의 펀드를 조성해 탈탄소 프로젝트에 금융지원을 할 예정이다.<sup>44)</sup>

2021년 이전에는 대부분의 컨테이너 선사들은 LNG선을 통해 탄소배출 규제에 대응했다. 하지만 IMO의 온실가스 산정방식이 연료 생산부터 선박이 연료를 사용할 때까지 배출되는 Well-To-Wake로 확정됨에 따라

---

42) 포세이돈 홈페이지(검색일: 2024.5.17.), 52019년 글로벌 은행 11곳이 참가했으며 2024년 35곳으로 확대됨

43) 해양한국(2024a), (검색일: 2024.5.17.)

44) 해양한국(2024b), (검색일: 2024.5.17.)

LNG선에 대한 장점은 상대적으로 약화됐다. 하지만 메탄올 연료의 가용성은 제한적인 데 반해 LNG는 병커링을 비롯한 인프라가 갖춰졌다는 점에서 접근 가능성에서 다른 연료에 비해 강점이 있다. 실제로 CMA CGM은 2023년 9월에 발주한 메탄올 선박을 친환경 메탄올에 대한 가용성과 비용 문제로 LNG 추진선으로 변경했다.<sup>45)</sup>

〈표 2-8〉 컨테이너 선사들의 LNG 추진선 보유 현황

단위: 척, TEU

해운사	척수	선대량(TEU)
CMA CGM	39	535,058
MSC	18	274,736
Zim	16	192,088
Hapag-Lloyd	5	109,256
Pasha Group	3	8,800
Crowley liner services	2	4,800
Tote maritime	2	6,200
Seaboard marine	1	1,036
Matson	1	3,620

자료: Alphaliner(2024c), p.42.

〈표 2-9〉 글로벌 컨테이너 선사들의 넷-제로 목표

해운사	2040	2045	2050	2060
MSC			○	
Maersk	○			
CMA CGM			○	
Hapag-Lloyd		○		
Cosco				○
HMM			○	

45) 로이즈리스트(2023), (검색일: 2024.6.10.)

해운사	2040	2045	2050	2060
Wan Hai Line			○	
ONE			○	
Yang Ming			○	
EMC			○	

자료: logupdateafrica 홈페이지, 저자 수정(검색일: 2024.5.7.)

2024년 3월 기준 컨테이너선 크기별로 대체연료선 운영현황을 살펴보면 LNG선은 87척, 메탄올 추진선박은 4척에 그치고 있다. LNG연료에 대해 가장 적극적인 선사는 CMA CGM으로 총 39척의 LNG선을 보유하고 있으며 평균 선대 크기도 13,000TEU 이상으로 대형을 중심으로 운항하고 있다. 상위 10대 컨테이너선사를 제외한 선사들도 LNG 추진 컨테이너선에 대한 발주를 이어가고 있으나 현재까지 운영 중인 선대는 10척 미만이었다. 컨테이너선 발주량 중 메탄올 추진선 발주는 2021년 하반기부터 본격적으로 진행되었으며 2022년부터는 LNG 추진선을 상회하는 발주량을 기록하고 있다.

〈표 2-10〉 선박 크기별 대체연료 보유 현황

단위: 척, TEU

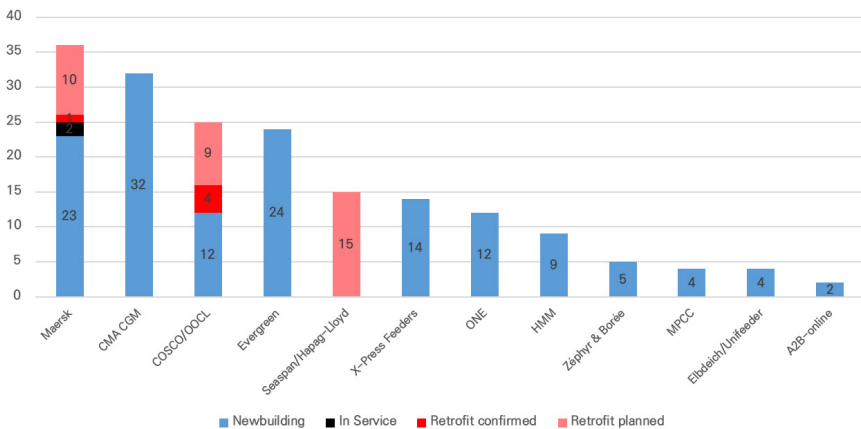
선박 크기	LNG		메탄올	
	척수	선대량	척수	선대량
18,000~24,000	13	302,664		
15,200~17,999	40	612,012	2	33184
12,500~15,199	8	114,420		
10,000~12,499				
7,500~9,999	7	54,856		
5,100~7,499	2	14,654		
4,000~5,099				
3,000~3,999	5	16,220		

선박 크기	LNG		메탄올	
	척수	선대량	척수	선대량
2,000~2,999	5	11,452	1	2136
1,500~1,999				
1,000~1,499	7	9,316	1	1,170
500~999				
총합	87	1,135,594	4	36,490

자료: Alphaliner(2024c), p.42.

머스크는 이미 3척의 메탄올 컨테이너선을 보유·운영하고 있을 뿐만 아니라 23척의 신조발주와 11척의 개조를 진행할 예정이다.<sup>46)</sup> 신조 발주한 선대 일부를 LNG선으로 전환했지만 CMA CGM은 32척의 메탄올 컨테이너선을 발주했다. 이 외에도 글로벌 컨테이너 10위권 내 선사들 대부분은 메탄올 추진선을 발주했다. 이중 하팍로이드는 Seaspan으로부터 장기 용선한 15척 선박을 메탄올 추진선으로 개조할 예정이다.

〈그림 2-10〉 글로벌 선사들의 메탄올 추진선 발주 현황



자료: 로이즈리스트(2024), (검색일: 2024.5.17.)

46) Alphaliner(2024c), p.42.

탈탄소 규제가 강화됨에 따라 친환경선 발주뿐만 아니라 친환경 연료 수급 문제가 중요시되고 있다. 현재 운영선대는 적지만 2025년부터 인도량이 크게 증가하는 메탄올을 비롯해 올해 엔진이 완성되고 2026년 이후에 시장에 인도 예정인 암모니아에 대한 수급 문제는 당분간 지속될 것으로 예상된다. 특히 그린메탄올, 그린암모니아와 같이 무탄소 연료에 대한 수요는 증가할 수밖에 없어 이들 연료 확보에 대한 선사들의 움직임이 나타나고 있다. 머스크는 그린메탄올을 생산하는 10개 기업과 공급 계약을 체결했으며 스페인 정부와 대규모 친환경 연료 생산을 위한 ‘General Protocol for Collaboration’에 서명했다.<sup>47)</sup>

〈표 2-11〉 머스크의 메탄올 공급 파트너사와 생산량

전략적 파트너	2024년	2025년	2026년 이후	위치
CIMC ENRIC	50,000	-	200,000	중국
Debo	200,000	-	-	중국
European Energy	-	2-300,000	-	북·남미
Green Technology Bank	50,000	-	300,000	중국
Orsted	-	300,000	-	남미
Proman	-	100,000	-	남미
Watefuel	30,000	-	-	북미
Carbon Sink	-	-	100,000	북미
SunGas	-	-	390,000	북미
C2X	-	-	30,000	중동
Total	330,000	6-700,00	1,290,000	-

출처: fathom World(2022), KMI 추가

47) greenium 홈페이지 <https://greenium.kr/tech-industry-ship-korea-green-methanoil-efuel-netzero-imo-maersk/>

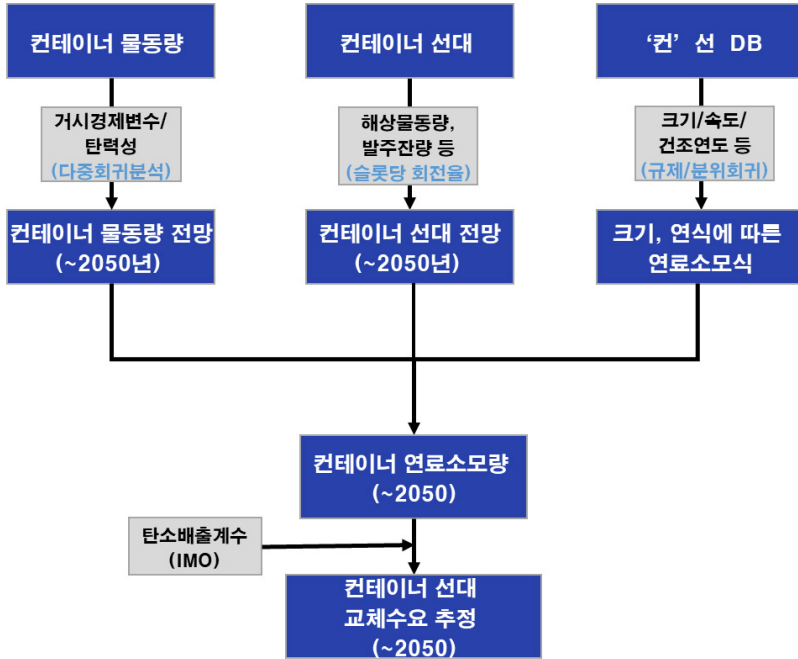
## 03

# 탈탄소 규제에 따른 글로벌 컨테이너 선대 교체 수요 전망

2050년까지 컨테이너 선대 교체 수요를 추정하기 위해 컨테이너 물동량과 이를 처리할 수 있는 선대를 전망한다. 이를 위해 선행연구에서 검토한 거시경제변수인 세계 GDP와 컨테이너 물동량 간의 탄력성을 이용해 2050년까지 수요를 전망한다. 전망된 수요를 기반으로 컨테이너선 슬롯(slot) 당 회전율을 이용해 컨테이너를 전망한다. 이때 슬롯당 회전율은 현재 상태인 8.0/슬롯과 향후 발생가능한 7.5/슬롯으로 시나리오를 구분한다.

컨테이너 선대에서 배출되는 탄소배출량을 계산하기 위해 컨테이너 연식, 크기, 속도에 따른 연료소모량 추정식을 도출한다. 연료 소모량 추정식은 일반적인 선형회귀모형과 더불어 규제 회귀 모형(Regularized Linear Regression)과 분위 회귀모형(Quantile Regression)을 이용한다. 상기 도출된 모형을 기반으로 2050년까지 전망되는 컨테이너 선대 자료를 이용해 2050년까지 컨테이너 연료소모량을 계산한다. 마지막으로 컨테이너 선대에서 소모되는 연료소모량을 IMO에서 제시한 화석연료 1톤당 탄소배출 전환계수를 이용해 2050년까지의 탄소배출량을 추정한다.

〈그림 3-1〉 컨테이너 선대 교체 수요 추정 프로세스



자료: 저자 작성

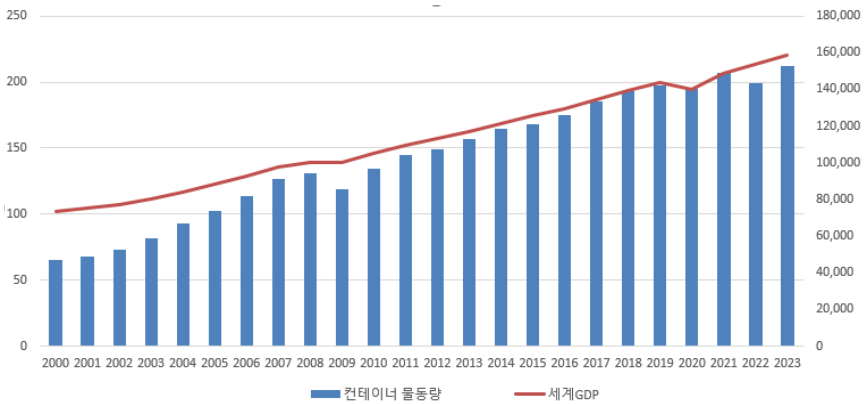
## 제1절 컨테이너 선대 전망

### 1. 컨테이너 물동량 전망

Teurelinx, Verbeke, and Declerq(1998), P.W. de Langen(2003), De Langen(2003), OECD 국제교통포럼(ITF) 등 세계 컨테이너 물동량 예측 연구에서는 GDP를 활용해 컨테이너 물동량을 예측했다. 컨테이너로 이동하는 화물이 중간재 및 완제품인 경우가 대부분이기 때문에 세계 경제

와 밀접한 연관이 있다. 2000년 6,570만 TEU를 기록한 세계 해상 컨테이너 물동량은 2021년 2억 TEU를 넘겼다. 컨테이너 물동량은 세계 경제와 흐름을 같이 하는데 2009년 글로벌 경제위기와 2020년 코로나 팬데믹으로 인해 세계 경제가 역성장했을 때 컨테이너 물동량도 같은 흐름을 나타냈다.

〈그림 3-2〉 세계 컨테이너 물동량과 세계 GDP



자료: 클락슨(2024), S&P(2024)

컨테이너 물동량은 지속적으로 증가하고 있지만 세계 경제와의 탄력성은 점차 작아지고 있다. 과거 GDP 1% 증가시 컨테이너 물동량은 2% 이상 증가했지만 최근에는 GDP 1% 증가시 컨테이너 물동량은 1% 미만으로 둔화되었다.

〈표 3-1〉 세계 총생산(GDP)과 컨테이너 물동량과의 탄력성

'00-'05	'05-'10	'10-'15	'15-'20	'20-'23
2.45	1.48	1.27	1.26	0.30

주: 2020~2023년 탄력성은 통계적으로 유의하지 않음  
 자료: S&P(세계 GDP)(검색일: 2024.5.8), 클락슨(검색일: 2024.5.8)(컨테이너 물동량), 저자 계산

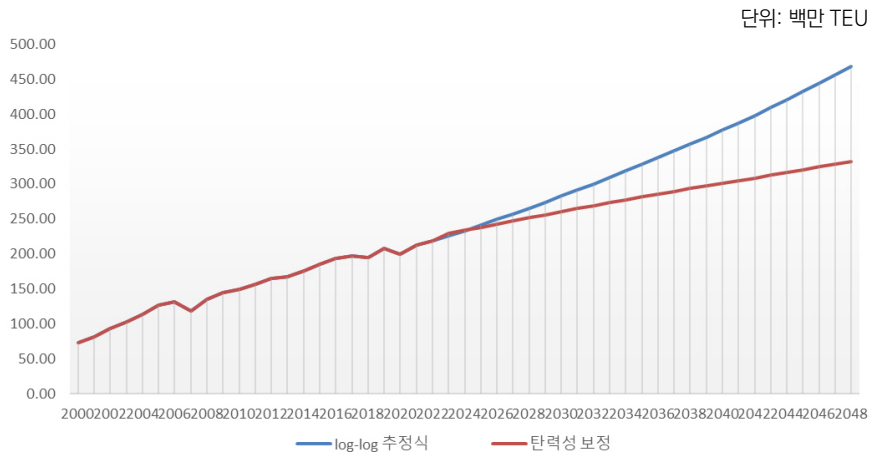


이에 컨테이너 예측 모형에서 GDP 변수와 함께 탄력성의 감소율을 적용해 2050년까지 전망한다. 또한 2020~2023년 GDP와 컨테이너 물동량과의 통계적 유의수준이 낮게 나타나 자료는 2023년까지 적용하나 모델에서는 2000년~2020년 자료를 활용한다. 세계 컨테이너 물동량은 클락슨, 2050년까지 세계 GDP 전망은 S&P 자료를 활용했다.

$$\log(\text{container}) = -7.1263 + 1.0434 \cdot \log(\text{world\_GDP})$$

상기방식으로 물동량을 예측한 결과 원추정에서는 2050년 4.7억 TEU을 기록했으나 탄력성을 이용해 보정한 결과 약 3.3억 TEU로 나타났다.

〈그림 3-3〉 원추정과 탄력성을 이용한 예측



자료: 저자 작성

2050년까지 컨테이너 물동량을 예측한 연구는 많지는 않으나 Doukas, H(2021), DNV 등에서 발표한 예측과 비교하면, 이번 연구에서 도출된 컨테이너 물동량은 2030년까지 증가율은 비교적 높으나 이후에 증가세는 낮은 것으로 나타났다.

〈표 3-2〉 동 연구와 DNV 컨테이너 물동량 예측 비교

단위: 백만 TEU

구분	2023	2030	2040	2050	증가율		
					'23-'30	'30-'40	'40-'50
동 연구	200.38	251.77	293.43	332.53	2.6	1.5	1.3
Doukas (2021)		249.15	311.43	381.51	2.5	2.2	2.1
DNV (2023)		239.47	289.66	350.36	2.1	1.9	1.9

자료: Doukas, H(2021), DNV(2023), 저자 수정

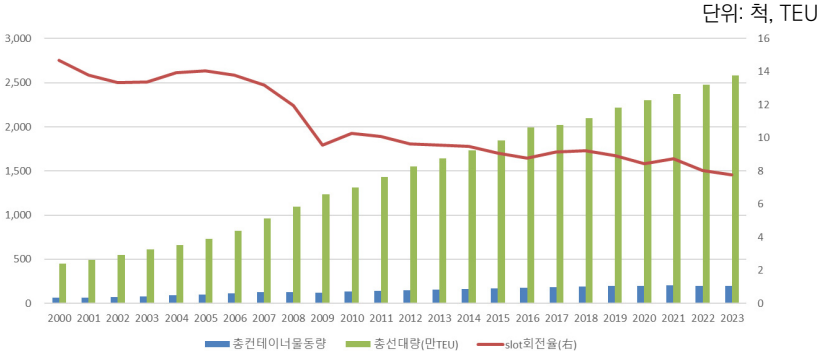
## 2. 컨테이너 선대 전망

컨테이너 선대 추정에 대한 선행연구는 대부분 운임에 따른 영향이 대부분이며 미래 전망에 대한 연구는 제한적이다. Crew(1986)<sup>48)</sup>의 연구에서는 하향식(Top-down) 방식으로 남대서양 컨테이너 선대에 대해 예측했으며, Luo, Fan, and Liu(2009)의 연구에서는 컨테이너 운임이 수급에 의해 결정됨을 밝혔다.

이번 연구에서는 최건우(2021)의 연구와 유사하게 컨테이너 물동량을 처리하기 위한 슬롯(slot) 회전을 이용한다. 2000년 1개의 슬롯은 평균적으로 14.7TEU의 컨테이너를 운송했다. 하지만 그 수치가 점차 하락해 2022년 1개의 슬롯은 8.0TEU의 컨테이너를 운송한다.

48) Crew(1986), pp.43-51.

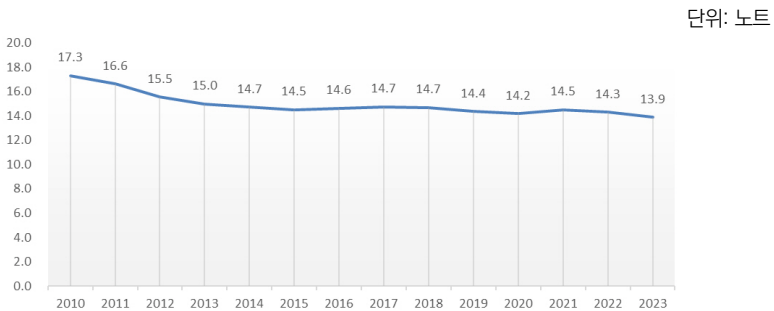
〈그림 3-4〉 컨테이너 물동량과 선대량, 슬롯 회전율



자료: 저자 작성

이렇듯 회전율이 하락한 이유는 몇 가지로 추정되는데, 첫째, 대형선박에 대한 발주가 이루어지고 있어 상대적으로 슬롯에 대한 수치가 상승했다. 둘째, 국가 간 지정학적 이슈, 홍해사태, 코로나 팬데믹과 같이 공급망에 영향을 주는 요인들이 발생하여 컨테이너 운송주기가 길어지면서 회전율이 하락했다. 셋째, 탄소배출규제와 같이 친환경 규제가 강화됨에 따라 대부분의 선사들이 감속운항을 실시함에 따라 컨테이너 처리에 대한 회전율이 하락했다. 실제로 컨테이너 평균 선복은 2010년 17.3노트였으나 2023년 13.9노트까지 감소했다.

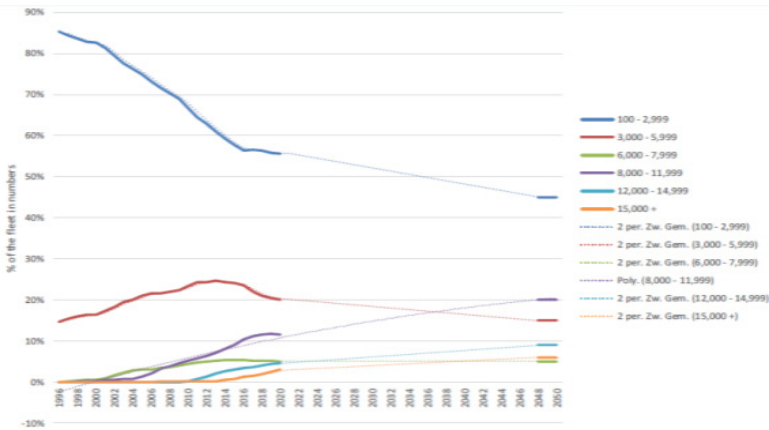
〈그림 3-5〉 컨테이너 평균 선속 추이



자료: 클락슨(검색일: 2024.5.16.)

IMO(2020)의 연구에서는 컨테이너선의 크기별 비중을 제시한다. 선박 대형화로 인해 소형선대의 비중은 축소되는 반면, 10,000TEU급 이상 선대의 비중은 증가할 것으로 전망했다.

〈그림 3-6〉 컨테이너 크기별 비중 전망(2050년)



주: 척수 기준  
 자료: IMO(2020), p.126.

이번 연구에서는 2020년부터 2024년의 선박 크기별 선대 인도 예정 선박을 포함해 증가세를 적용한 2050년의 비중을 전망했다. 최근 10년간 컨테이너에서는 상대적으로 발주량이 적은 파나마스급의 비중은 축소하지만 15,000TEU급 이상 선박의 비중은 증가할 것으로 예상된다.

〈표 3-3〉 2050년 선대 비중 전망

단위: %

선박 크기(TEU)	2023	2050
~2,999	56.6	55.1
3,000~7,999	22.9	19.9
8,000~14,499	15.4	14.2
15,000~	5.0	

자료: 클락슨(검색일: 2024.5.16.) 저자 추정

선박대형화와 탈탄소 규제에 의한 감속운항 등의 이유로 인해 컨테이너 슬롯(slot) 1개의 연간 처리량은 8.0TEU 이상을 기록하기는 힘들다. 따라서 이번 연구에서는 연간 슬롯당 처리실적은 최근 실적인 8.0TEU와 향후 발생가능한 수준인 7.5TEU로 구분한다.

컨테이너 크기 분류는 IMO(2020)에서 제시된 기준에 따라 구분했다. <표 3-4>와 같이 컨테이너 슬롯당 연간 처리실적을 7.5TEU로 가정했을 때, 2050년 선대는 7,644척, 44,337천 TEU로 예상된다. 2023년에 비해 선대 척수는 30.1% 증가한 데 반해, 선대 규모는 71.9% 증가해 선박 대형화로 인한 영향은 더 크게 작용할 것으로 예상된다.

<표 3-4> 컨테이너선 선대 전망(7.5TEU/slot 기준)

단위: 척수, 천 TEU

구분		3,000TEU 이하	3,000-7,999TEU	8,000-15,000TEU	15,000TEU 이상	합계
척수	2020	3,353	1,350	933	238	5,874
	2030	3,640	1,435	978	388	6,986
	2040	3,917	1,477	1,030	565	7,410
	2050	4,215	1,520	1,084	824	7,644
TEU	2020	4,571	6,701	9,940	4,573	25,786
	2030	5,417	7,778	11,373	8,129	32,697
	2040	5,976	8,205	12,276	12,153	38,610
	2050	6,263	8,223	12,588	17,263	44,337

주: 2023년은 실적자료임  
 자료: 클락슨(검색일: 2024.5.16.) 저자 추정

<표 3-5>와 같이 슬롯당 처리실적 기준을 8.0TEU 기준으로 할 경우 2050년 총 선대 규모는 7,167척, 4,157만TEU로 예상된다. 2023년과 비교하면 선대 척수는 22.0% 증가한 데 반해, 선대 규모는 56.8% 증가할 것으로 예상된다.

〈표 3-5〉 컨테이너선 선대 전망(8.0TEU/slot 기준)

단위: 척수, 천 TEU

구분		3,000TEU 이하	3,000-7,999TEU	8,000-15,000TEU	15,000TEU 이상	합계
척수	2020	3,353	1,350	933	238	5,874
	2030	3,586	1,414	963	382	6,738
	2040	3,765	1,420	990	543	7,047
	2050	3,952	1,425	1,017	773	7,167
TEU	2020	4,705	6,896	10,200	4,707	26,508
	2030	5,220	7,494	10,925	7,832	31,471
	2040	5,682	7,802	11,638	11,557	36,679
	2050	5,876	7,716	11,776	16,198	41,566

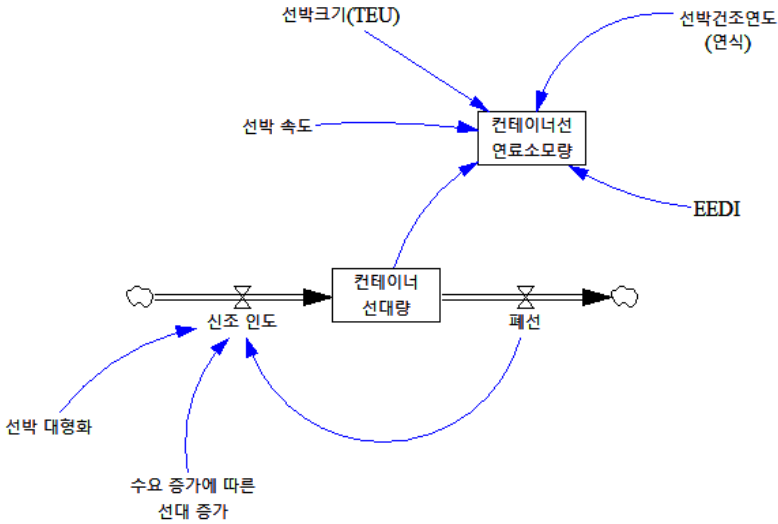
주: 2023년은 실적자료임  
 자료: 클락슨(검색일: 2024.5.16.) 저자 추정

## 제2절 컨테이너선대 탄소배출량 추정(BAU)

### 1. 컨테이너선 연료 소모량 추정

2050년까지 전 세계 컨테이너선대의 탄소배출량을 추정하기 위해 컨테이너선의 연료소모량을 우선 산정한다. 이를 위해 컨테이너선의 연식, 속도, 크기 등의 변수를 이용해 연료소모량 추정식을 도출하고 이후 전체 컨테이너선대에 적용한다.

〈그림 3-8〉 컨테이너선 연료소모량 추정 프로세스



자료: 저자 작성

## 1) 컨테이너선 연료소모량 추정식

온실가스 배출량에 관한 선행연구인 Wang *et al.*(2018), Le *et al.* (2020)에서는 선박 크기, 속도에 따른 연료소모량을 추정하였다.<sup>49)50)</sup> 실제 운항 속도로 연료소모량을 추정하는 방식에서는 기상상황(파고, 바람 등)을 이용해서 추정하는 방식도 사용되었다. 최근에는 머신러닝을 활용한 방식들이 적용되고 있는데 Moreira, Vettor, and Guedes Soares (2021), Uyanik, Karatuğ, and Arslanoğlu(2020)의 연구가 대표적이다.<sup>51)52)</sup>

이번 연구에서 사용되는 컨테이너선의 재원에 관련된 자료는 S&P에서 발간하는 자료로 컨테이너선박 전체에 대한 자료를 이용한다. 과거 최건우

49) Wang *et al.*(2018), *op. cit.*, pp. 817-824.

50) Le *et al.*(2019), pp. 615-632.

51) Moreira, Vettor, and Guedes Soares,(2021) *op. cit.*, pp. 1-14.

52) Uyanik, Karatuğ, and Arslanoğlu,(2020) *op. cit.*, pp. 1-14.

(2021)의 연구에서는 2019년 기준 운항선박에 대한 자료만을 활용했다. 이번에는 과거 운항된 선박과 현재 발주된 선박의 자료를 모두 활용하여 대상의 범위를 확대했다. 다만 선박운항속도, 운항시 사용되는 연료소모량 등 일부 자료가 누락되어 있는 자료가 있어 이를 제외하고 모델을 구축한다. 총 모델 구축에 사용된 자료는 6,281척이다.

본 연구에서는 선행연구에서 사용된 선속, 선박크기(TEU)를 활용했을 뿐만 아니라 최건우(2021)에서 사용된 선박 건조연도와 EEDI에 관련된 변수를 추가했다. 특히 EEDI 규제가 실시된 2015년 이후에 건조된 선박은 에너지소모량이 크게 절감됨을 선행연구에서 확인해 이에 대한 변수를 통제해 확인한다.

변수별 기초통계량 중 평균값을 살펴보면 선박연료소모량은 약 105톤, 적재가능 컨테이너(TEU) 수는 4,435TEU, 선박운항속도는 20.8노트, 건조연도는 2007년으로 나타났다. EEDI 변수는 2015년 이후에 건조된 선박을 표시하기 위해 더미(dummy)변수로 분석에 사용했다.

〈표 3-6〉 변수별 기초통계량

변수	평균	최대	최소	표준편차
선박 연료소모량 (톤)	104.99	310.0	4.3	75.21
적재가능 컨테이너 수 (TEU)	4,435.096	24,232	95.0	4,328.76
선박운항가능설계속도 (노트)	20.8	27.5	8.0	3.15
건조 연도(예정)	2007.4	2026	1971	8.88

자료: 저자 작성

컨테이너선 연료소모량 추정식에서 종속변수는 컨테이너선 연료 소모량이며 독립변수로는 선속(ship\_speed), 선박크기(ship\_size), 건조연도,



---

EEDI 더미 변수로 구성된다. 변수 모두 양변에 로그(log)함수를 적용해 해석의 편의성과 결과치의 강건성을 확보했다.

$$\log(\text{fuel\_consumption}) = \beta_1 + \beta_2 \cdot \log(\text{ship\_speed}) + \beta_3 \cdot \log(\text{ship\_size}) \\ + \beta_4 \cdot \text{built\_year} + \beta_5 \cdot \text{dm\_EEDI} + \epsilon$$

fuel\_consumption: 선박 연료소모량

ship\_speed: 선박 운항가능 설계 속도

ship\_size: 적재가능 컨테이너 수(TEU)

built\_year: 건조 연도

EEDI: EEDI 규제 선박(phase 1: 2015년 이후 건조 선박)

## 2) 컨테이너선 연료소모량 추정식 도출 결과

다중회귀분석 결과에서는 EEDI의 적용 전후에 따른 차이를 살펴보기 위해 변수를 통제해서 적용했다. 분석결과 선속이 1% 증가할 경우 컨테이너선의 연료소모량은 2.4% 이상 증가해 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 선박크기는 1% 증가할 경우 연료소모량은 0.5% 증가해 선박 크기에 따른 연료소모량 증가세는 둔화되는 것을 확인했다. 이를 통해 규모의 경제를 통한 선박 대형화의 효과를 측정할 수 있다. 건조연도에 따른 효과는 1년에 0.5의 연료 소모량 절감효과가 있으며 EEDI로 인한 연료소량 절감효과는 18% 이상인 것으로 나타났다.

〈표 3-7〉 선형회귀분석 결과

변수	모델1	모델2
상수항	13.97775*** (26.50427)	3.453355*** (5.198488)
선속	2.520462*** (137.9241)	2.420458*** (134.8647)
선박크기	0.499875*** (145.0619)	0.504754*** (152.9354)
건조연도	-0.01057*** (-40.7477)	-0.005183*** (-15.58376)
EEDI(더미)		-0.181042*** (-24.33097)
$\overline{R}^2$	0.958072	0.961679

주: \*\*\*는 각 1% 수준에서 계수가 유의함을 의미  
 자료: 저자 작성

회귀모델은 그 식에서 잔차제곱의 합(RSS, Residual sum of squares)의 최소화를 목적으로 회귀계수를 산정하기 때문에 계수값이 커질 수 있다. 이런 경우 계수값의 변화가 커 예측 확률이 낮아질 수 있다. 때문에 회귀계수 값을 제어해 과적합을 개선하는 규제선형모형이 사용된다. 규제선형모형에서는 다음과 같은 목표로 함수식이 변경된다.<sup>53)</sup>

$$\text{비용함수 목표} = \text{Min}(RSS(W) + \alpha a^* \|W\|_2^2)$$

알파(alpha)의 유무에 따라 일반 선형회귀모델과 차이가 구분된다. 알파의 숫자가 증가하면 비용함수의 목표를 달성하기 위해 W가 최소화된다. 이때 알파와 W 간의 균형을 이루려는 방식을 규제(Regulation)라고 부른다.

$$\text{비용함수목표} = \text{Min}(RSS(W) + \alpha a^* \|W\|_1 + \alpha b a^* \|W\|_2^2)$$

53) 권철민(2020), p.320.

라쏘와 릿지가 혼합되어 있는 엘라스틱넷 회귀분석에서 알파 값이 0인 경우를 제외하고는 알파 값의 변화에 따라 계수 간에 큰 차이가 발생하지 않은 것으로 나타났다.

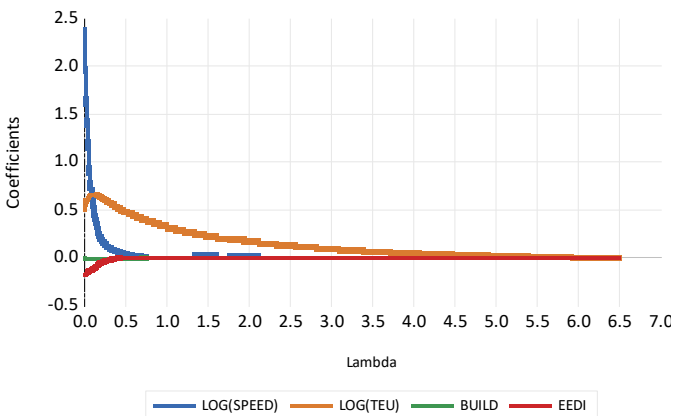
〈표 3-8〉 엘라스틱넷 회귀분석 결과

변수	Alpha:0	Alpha:0.5	Alpha:1
상수항	-2.267898952	3.518461	3.491895
선속	0.025483467	2.416667	2.419569
선박크기	0.130125013	0.505119	0.504804
건조연도	0.002748305	-0.00521	-0.0052
EEDI(더미)	-0.013402815	-0.18045	-0.18048
$\overline{R^2}$	0.25184	0.961703	0.961704

자료: 저자 작성

알파 값이 0.1일 때 람다 값의 변화에 따른 변수별 영향도를 측정한 결과, 엘라스틱넷 회귀분석에서는 릿지와 유사하나 0으로 근접하는 기울기가 가파른 것으로 나타났다.

〈그림 3-9〉 패널티(람다)에 따른 변수별 영향도 변화(엘라스틱넷)



주: 알파 값 0.1일 때  
자료: 저자 작성

규제회귀모형에서는 과적합을 개선하기 위해 이번 연구에서 사용되었지만 추가적으로 변수의 낮은 분위수에서 높은 분위수로 변동될 때 변수에 미치는 영향의 변화를 살펴보기 위해 분위회귀분석을 실시했다.

분위회귀분석은 평균을 이용한 선형회귀분석과 다르게 증릿값을 이용한 다. 선형회귀분석에서 예측오차( $e_i$ )는 최소제곱법(OLS)을 이용해  $\sum_i e_i^2$ 를 최소화하는데, 증릿수를 이용하는 회귀법은  $\sum_i |e_i|$ 를 최소화한다.<sup>54)</sup> 동 분석 방법은 최소제곱법이나 최우추정법과 동일하게 최적화를 위해서 선형회귀법을 사용한다.  $q$ 번째 분위회귀 추정량  $\hat{\beta}_q$ 는 다음의 목적함수  $\beta_q$ 에 대해 최소화한다.<sup>55)</sup>

$$Q(\beta_q) = \sum_{i: y_i \geq x'_i \beta} q |y_i - x'_i \beta_q| + \sum_{i: y_i < x'_i \beta} (1-q) |y_i - x'_i \beta_q|$$

분위회귀분석은 일반적인 선형 회귀분석에 비해 몇 가지 장점이 있다. 첫째, 선형회귀분석은 특이치(outlier)가 있을 경우 선형 모델이 이를 포함해서 결과를 만든다. 때문에 변수가 정규분포가 아닌 경우 결과의 강건성이 떨어질 수 있지만 분위회귀분석에서는 이러한 문제들을 상쇄한 결과 도출이 가능하다. 둘째, 종속변수에 영향을 미치는 독립변수들의 영향도를 세부적으로 확인할 수 있다. 셋째, 최소제곱법과는 달리 분위회귀 추정량의 일치성은 조건부 평균의 존재 여부에 의존하지 않는다.<sup>56)</sup>

동 분석방법을 통해 분석된 결과 컨테이너선 연료소모량에 가장 영향도가 큰 선박 변수는 선속으로 나타났다. 선속은 분위수가 커질수록 계수값

54) 최건우(2021), p.62.

55) Cameron, A. C. & P. K. Trivedi(2010), p.274.

56) Cameron, A. C. & P. K. Trivedi(2010), 강창희·박상곤(2017), trans., p. 275. 재인용: 최건우(2021), p.62.

이 작아져 실질적인 영향도는 낮아지는 것으로 분석되었다. 선박 크기 변수의 영향은 분위수는 1분위에서는 0.44였으나 9분위에서는 0.55까지 증가하는 것으로 나타났다. 선박 건조 연도에 따른 영향도는 연료소모량이 높은 대형 선박일수록 기술진보 효과가 커지는 것으로 나타났다. 연식에 따른 효과는 1분위에서 0.40%이었으나 9분위까지 올라가면 0.85%로 두 배 이상 증가하는 것으로 나타났다.

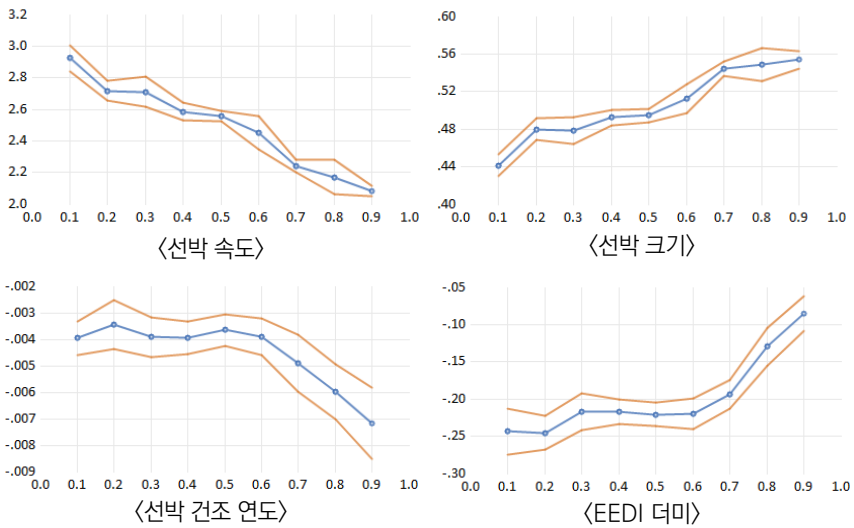
〈표 3-9〉 분위회귀분석 결과

선박 크기	1분위	2분위	3분위
상수항	-0.21082	-0.8323	0.174365
선속	2.92311***	2.718534***	2.71138***
선박 크기	0.441504***	0.480208***	0.478939***
건조연도	-0.00395***	-0.00345***	-0.00392***
EEDI(더미)	-0.24359***	-0.24559***	-0.21656***
$\bar{R}^2$	0.808622	0.818926	0.828882
선박 크기	4분위	5분위	6분위
상수항	0.553217	0.058452	0.803005
선속	2.586099***	2.556996***	2.449273***
선박 크기	0.492412***	0.494609***	0.51262***
건조연도	-0.00395***	-0.00365***	-0.00392***
EEDI(더미)	-0.21681***	-0.22051***	-0.21952***
$\bar{R}^2$	0.837426	0.838072	0.835293
선박 크기	7분위	8분위	9분위
상수항	3.179293**	5.563213***	8.248584***
선속	2.241613***	2.171168***	2.080793***
선박 크기	0.544721***	0.548581***	0.554249***
건조연도	-0.0049***	-0.00598***	-0.00717***
EEDI(더미)	-0.19332***	-0.12916***	-0.08469***
$\bar{R}^2$	0.823809	0.806572	0.775286

주: \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 계수가 유의함을 의미  
 자료: 저자 작성

분위 변화에 따른 계수의 변화는 <그림 3-9>와 같다. 선박속도는 분위수가 증가함에 따라 계수값이 감소하는 것으로 나타났으나 선박크기와 EEDI 변수는 증가한다. 선박 건조연도는 1분위에서 5분위까지는 큰 변화가 없었으나 이후 감소하는 것으로 나타났다.

<그림 3-10> 분위 변화에 따른 계수 변화



자료: 저자 작성

## 2. 컨테이너선대 탄소배출량 전망

### 1) 컨테이너선대 탄소배출량 추정을 위한 가정

세계 컨테이너선대의 탄소배출량을 추정·전망하기 위해서 표준화된 속도, 평균크기 등을 적용한다. AIS를 활용해 선박별 운항자료와 추정식을 연결해 연료소모량을 추정할 수 있지만 이는 4장에서 국적선대 연료소모량 추정에서 사용할 예정이다. 현재 운항하는 컨테이너 선대가 약 6,000척에

이르기 때문에 선행연구에서 제시한 방안과 유사한 방식으로 도출하되 운항자료를 활용한 연료소모량 자료와 비교 분석한다.

선박 연료소모량을 활용해 배출량을 계산한 연구 중 대표격인 Corbett and Koehler(2003)에서는 선박의 엔진출력(P), 엔진부하계수(F), 평균엔진 가동시간(t)을 이용해 배출량을 추정했다.

$$\text{배출량} = \sum_{i=1}^n P_{MW} \times F_{\%MW} \times t_{hrs/yr} \times E_{g/kWh} \times \frac{1}{1000}$$

이번 연구에서는 세계 컨테이너선대의 탄소배출량을 추정·전망하기 위해 몇 가지 가정을 통해 연료소모량을 추정하고 이를 기반으로 탄소배출량을 전망한다. 첫째, 컨테이너선의 선속은 Czermański *et al.*(2021)에서 적용한 연구에서는 17노트로 적용했으나 최근의 감속운항 추세를 적용해 16.1노트로 적용했다<sup>57)</sup>. 둘째, 이번 분석에 활용된 컨테이너 선박의 연간 운항 일수는 Czermański *et al.*(2021)와 동일하게 250일로 가정한다. 셋째, 컨테이너선의 크기는 4가지(~3,000TEU/3,000~7,999TEU/8,000~15,000TEU/15,000TEU~)로 구분해 평균선형의 연료 소모량을 추정해 선대량을 고려해 총 연료소모량을 추정했다. 넷째, 선박의 선령은 평균 선령을 적용했다. 평균선형과 선령은 클락슨(Clarkson) 자료를 활용했다. 다섯째, 보조엔진의 연료소모량은 IMO(2014)의 경우 주 엔진 소모량의 5%를 적용했다. 여섯째, 정박/묘박 중일때 사용하는 보조 엔진 연료소모량은 Comer *et al.*(2017)의 연구에서 제시한 컨테이너선 주 엔진 소모량의 6%를 적용했다.

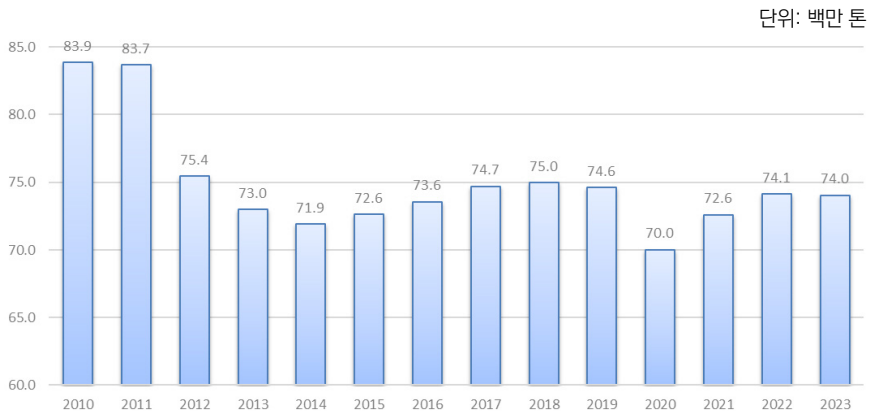
57) Czermański et al.(2021)의 연구는 2018년 선속을 기준으로 작성되어 2023년 선속으로 조정함

## 2) 컨테이너선대 탄소배출량 추정·전망

IMO의 탈탄소 규제가 2023년 현존선에 대해서 실시되어 실제로 컨테이너선의 선속이 소폭 하락함을 확인했다. 2023년부터 2026년까지 탄소배출량은 2019년 대비 연간 2%씩 절감해야되는 의무규정이 있으므로 선사들은 이에 대해 감속운항과 에너지 출력제한과 같은 단기적인 대응을 하고 있다. 장기적으로는 메탄올, LNG와 같은 연료 전환을 추진하고 있지만 그 비중은 현재 미미하다. 이번 컨테이너 선대에 대한 탄소배출량 전망은 현재와 같은 상황이 지속됨을 가정해 추정 전망한다.

해운산업의 연료소모량은 2011년 이후 점차 감소해 안정화되는 추세이다. 2023년 기준 해운산업의 총 연료소모량은 약 2.7억 톤으로 나타났다.

〈그림 3-11〉 해운산업의 연료소모량

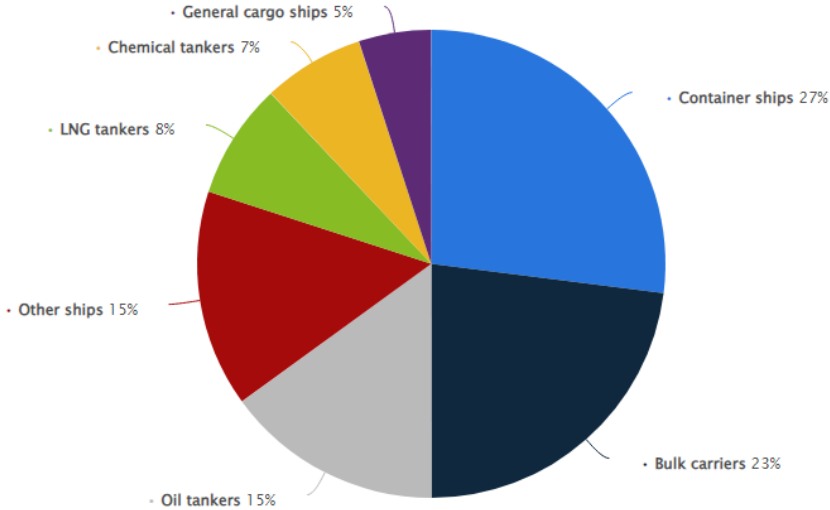


자료: 클락슨(2024), (검색일: 2024.6.10.)

해운산업의 총 연료소모량에서 컨테이너 산업의 비중은 약 27.0%로 2023년 기준 약 7,400만 톤의 연료가 소비된 것으로 추정된다.



〈그림 3-12〉 해운에서 컨테이너선대의 연료소모량



주: 자료의 기준은 2020년임  
 자료: STATISTA(2023), (검색일: 2024.4.25.)

이번 연구에서 추정된 컨테이너선대의 연료소모량은 2023년 기준 약 8,027만 톤으로 추정되어 다른 통계대비 약 8%의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 차이가 나는 이유로는 몇 가지가 존재한다. 첫째, 추정 기준에 따른 차이가 발생할 수 있다. 해운산업의 연료소모량은 온실가스 배출량을 기준으로 추정된 자료인데, 이번 연구에서는 Tank-to-Wake 자료를 활용했다. 만약 Well-to-Wake 자료를 활용했을 경우 2023년 컨테이너선대의 연료소모량은 약 8,700만 톤으로 추정된다. 둘째, LNG선을 비롯한 친환경 선박에 대한 자료를 포함하지 못해 과대 추정되었을 수 있다. 2023년 기준 LNG선은 51척이 인도되어 운항 중이므로 탄소배출량이 적었지만 이번 연구에서는 이러한 요소를 반영하지는 못했다.

컨테이너선 연료소모량 추정은 〈표 3-10〉에 제시되어 있다. 2023년 기준 총 컨테이너선대의 연료소모량 배출은 8,027만 톤으로 추정되는데 연

간 슬롯당 처리실적이 8.0TEU일 경우 2050년 연료소모량은 9,026만 톤으로 전망된다.

〈표 3-10〉 컨테이너선 연료소모량 추정(8.0TEU/slot 기준)

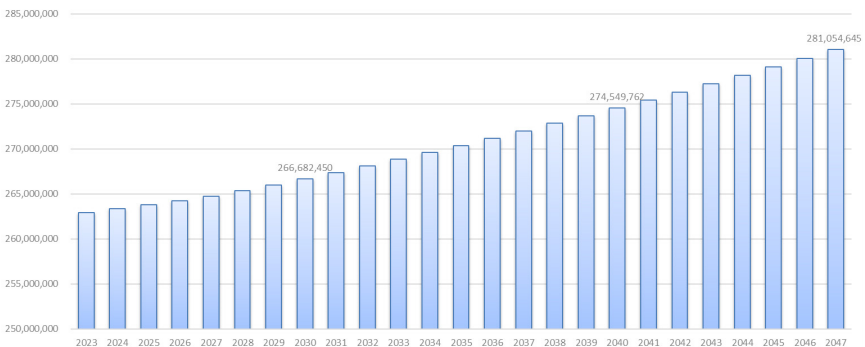
단위: 톤/연

구분	운항 중		정박 중	요박 중	합계
	주 엔진	보조 엔진	보조 엔진	보조 엔진	
2023	72,123,667	3,606,183	4,543,791		80,273,641
2030	76,384,209	3,819,210	4,812,205		85,015,624
2040	78,479,220	3,923,961	4,944,191		87,347,372
2050	81,091,810	4,054,591	5,108,784		90,255,185

주: 동 연구는 16.1노트, 운항 일수 250일 가정  
 자료: 저자 작성

현재의 상태가 지속된다고 가정하여 화석연료에서 발생하는 톤당 탄소배출량은 3.114톤으로 적용한 결과 상기에서 추정된 연료소모량을 기준으로 2050년까지 기존의 화석연료를 사용할 경우 2050년 탄소배출량은 2.8억 톤으로 추정·전망된다.

〈그림 3-13〉 컨테이너선대의 탄소배출량 전망(8.0TEU/slot 기준)



주: 자료의 기준은 2020년임  
 자료: 저자 작성

2023년 기준 총 컨테이너선대의 연료소모량 배출은 8,027만 톤으로 추정되는데 연간 슬롯당 처리실적이 7.5TEU일 경우 2050년 연료소모량은 9,026만 톤으로 전망된다. 상대적으로 슬롯당 처리실적이 감소함에 따라 선대량이 늘면서 소모하는 연료소모량도 증가할 것으로 예상된다.

〈표 3-11〉 컨테이너선 연료소모량 추정(7.5TEU/slot 기준)

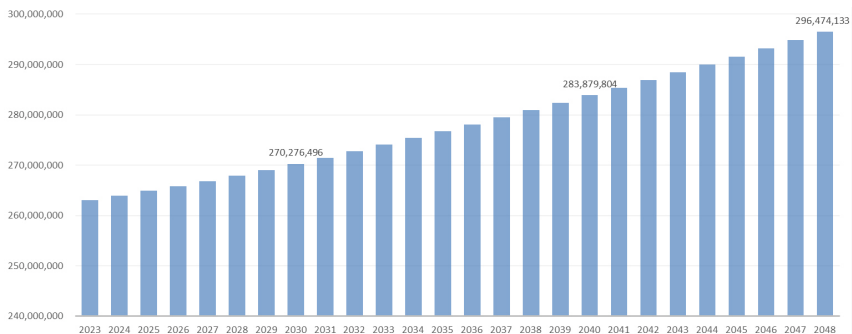
단위: 톤/연

구분	운항 중		정박 중	묘박 중	합계
	주 엔진	보조 엔진	보조 엔진	보조 엔진	
2023	72,123,667	3,606,183	4,543,791		80,273,641
2030	77,295,614	3,864,781	4,869,624		86,030,019
2040	81,063,944	4,053,197	5,107,028		90,224,170
2050	85,540,746	4,277,037	5,389,067		95,206,851

주: 동 연구는 16.1노트, 운항 일수 250일 가정  
자료: 저자 작성

연료소모량을 기준으로 2050년까지 기존의 화석연료를 사용할 경우 2050년 탄소배출량은 약 3억 톤으로 추정·전망된다. 탄소배출량의 연간 증가세는 0.6% 내외로 크지 않으며 실제로는 감속운항 및 친환경 선대로 인한 영향을 증가보다는 둔화 또는 감소할 것으로 예상된다.

〈그림 3-14〉 컨테이너선대의 탄소배출량 전망(7.5TEU/slot 기준)



주: 자료의 기준은 2020년임  
자료: 저자 작성

IEA(2023)의 연구에 따르면 2020년 해운산업의 탄소배출량은 8.6억 톤을 기록했으며 2050년까지 지속적으로 증가해 약 11.0억 톤으로 전망했다. IEA(2023)의 연구를 기반으로 컨테이너 해운산업에서 배출하는 탄소배출량은 2050년 약 3.0억 톤을 기록할 것으로 예상된다. 이번 연구에서 추정·전망한 컨테이너 해운산업에서 발생하는 탄소배출량은 2050년 기준 2.8억 톤으로 전망된다.

〈표 3-12〉 2050년까지 탄소배출량 비교

단위: 백만 톤, %

구분	2022	2030	2040	2050	'22-'50 증가율
IEA(2023)	230.9	244.1	254.6	296.5	0.9
동연구		264.7	272.0	281.1	0.7

주: 컨테이너 해운산업의 탄소배출량은 STATISTA(2023)의 자료를 참고해 총 배출량의 27%를 가정함  
 자료: IEA(2023), p.268, 저자 작성

### 제3절 컨테이너선대 교체 수요 전망

#### 1. 탄소배출량 감축 방안

IMO(2020)의 GHG 4<sup>th</sup> study에서는 선박에서 사용하거나 사용할 수 있는 연료의 탄소함량과 탄소배출량, 밀도 등의 자료를 제시한다. 일반적으로 황함유량이 높은 HFO와 저유황유 모두 그램(g)당 탄소배출량은 동일하게 3.114g으로 나타났다. LNG의 경우 일반적인 병커유에 비해 15% 이상의 탄소배출 감축 효과가 있는 것으로 나타났으나 톤당 밀도가 낮아 저장 및 사용에 높은 기술이 필요하다. 이외에 메탄올은 1그램당 1.375g의 탄소를 배출하는 것으로 나타났다.

〈표 3-13〉 연료별 탄소배출계수

연료 유형	탄소 함량	탄소배출량( $CO_2/g$ )	밀도(톤/ $m^3$ )
HFO	0.8493	3.114	1.001
MDO	0.8744	3.206	0.895
LNG	0.7500	2.750	0.450
메탄올	0.3750	1.375	0.790
LSHFO 1.0%	0.8493	3.114	-

자료: IMO(2020), p.92.

탄소 배출을 줄이기 위해 제안되는 연료들은 현재 사용 중인 고유황유(HFO)의 부피열량에 미치지 못해, 더 큰 저장 탱크가 필요하다. 예를 들어, 수소는 고유황유에 비해 약 4배의 탱크 용량이 요구되며, 암모니아와 메탄올도 기존보다 1.8배에서 2.8배 더 많은 용량을 필요로 한다.

〈표 3-14〉 연료 유형별 열량

연료 유형	중량열량(MJ/kg)	부피열량(MJ/L)	탱커 볼륨( $m^3$ )
HFO	40.5	35	1,000
LNG	50	22	1,590
LPG	42	26	1,346
메탄올	19.9	15	2,333
에탄올	26	21	1,750
암모니아	18.6	12.7	2,755
수소	120	8.5	4,117

주: 탱커 볼륨은 HFO 1,000 $m^3$ 의 부피열량을 기준으로 산정된 수치임  
 자료: Ammonia Energy Association(검색일: 2024.9.30.)

일본 국토교통성(2020)<sup>58</sup>의 자료에 따르면, 선박 연료의 열량당 탄소배출량을 기준으로 했을 때 메탄올의 탄소 배출 감축 효과는 현재 사용 중인 고유황유(HFO)와 선박용 경유(MGO) 등에 비해 약 10.0%를 절감하는 정도에 그칠 것으로 예상된다. 사실, LNG에 비해 메탄올의 탄소 배출 절감

58) 일본 국토교통성(2020), 재인용: 한능호 외(2020), pp.143-164.

효과는 크지 않을 것으로 보이지만, 최근 메탄올이 친환경 연료로 주목받는 몇 가지 이유가 있다. 첫째, LNG는 높은 압력과 낮은 온도가 필요한 반면, 메탄올은 상온에서 저장이 가능해 보관 및 운송이 더 용이하다. 또한, 기존 병커링 시설과의 호환성이 높아 인프라 구축에 유리하다. 둘째, 메탄올은 물에 녹는 특성이 있어, 사고 발생 시 자연적으로 분해되어 해양 오염을 일으키지 않는다. 셋째, 기존 연료와 혼합해 사용할 수 있기 때문에 기존 선박에서도 사용할 수 있다. 글로벌 선사들은 이미 관련 테스트를 완료했거나 진행 중이다.

〈표 3-15〉에 따르면, 메탄올의 열량당 탄소배출량은 LNG와 메탄보다 높아 실질적인 효율이 낮은 것으로 보인다. 그러나 메탄올의 생산 방식에 따라 탄소배출량에는 큰 차이가 발생한다. 일반적으로 메탄올은 천연가스를 사용하여 생산되며, 이 경우 생산부터 사용까지(Well-to-Propeller) KWh당 766g의 탄소가 배출된다. 반면, 팜유와 같은 자연에서 유래한 식물성 원료를 사용해 생산할 경우, 탄소 배출량은 KWh당 338g으로 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 바이오매스를 활용해 생산된 메탄올은 선박에서 사용될 경우 탄소배출량이 0인 것으로 확인되었다.

〈표 3-15〉 생산 방식에 따른 탄소배출량 차이

연료 유형	탄소배출량 (g/MJ)	탄소배출량 (g/KWh)	
	Well-to-Tank (에너지생산 단계)	Tank-to-Propeller (선박운항 단계)	Well-to-Propeller (생산부터 사용까지)
LNG (fossil)	18.5	488-549	630-691
LNG (biogas)	55.4	107	531
Methanol (natural gas)	27	550	766
Methanol (biomass)	42.2	0	338

자료: Nanyang Technological University(2021), p.6.; 최건우(2021), p. 79 재인용

---

IMO의 탄소배출 규제에 대한 선사들의 대응은 각기 다르다. 가장 적극적으로 대응하는 머스크(Maersk)는 2030년까지 탄소 중립 선박을 상업적으로 운항할 계획이다. 올해 머스크는 메탄올 추진 선박을 국내 조선소에 발주했으며, 해운업계의 탄소배출에 대한 징벌적 세금 부과에도 찬성하는 입장이다. 또한, 혁신적인 기술 도입을 통해 탄소중립을 달성하겠다는 목표도 있다. 머스크는 덴마크의 신재생 에너지 기업인 European Energy와 계약을 맺고, 연간 1만 톤의 메탄올을 공급받기로 했다. 이번 계약으로 공급되는 메탄올은 태양광 및 바이오매스를 활용해 생산되어 탄소배출이 최소화되었다. 그러나 올해 발주된 16,000TEU급 메탄올 추진 선박 8척은 연간 30~40만 톤의 메탄올이 필요하기 때문에, 현재 공급량으로는 제한적인 운항만 가능하다. 이에 따라 머스크는 친환경 연료 생산이 가능한 기업에 대한 인수합병(M&A)을 추진하고 있다.

CMA CGM과 하팍로이드는 머스크와 달리 혁신적인 기술 도입보다는 점진적인 기술 혁신을 통해 IMO의 탄소배출 규제에 대응하겠다는 입장이다. 이들의 주요 대응 기술은 LNG 선박으로, CMA CGM은 2024년 현재 51척에 달하는 LNG 추진선을 운영 중이다.<sup>59)</sup> 하팍로이드는 올해 15,000 TEU급 선박을 LNG 추진선으로 개조했으며, 지난해 발주된 선박 중 일부는 LNG-ready 선박으로, 탄소배출 규제에 대응하기 위한 과도기적 조치로 도입되었다.<sup>60)</sup> 두 회사 모두 LNG 추진선이 완전한 탄소중립의 해법은 아니라고 보고 있으며, 수소와 바이오매스 연료에도 관심을 두고 있다. 그러나 완전한 탄소중립에 도달하기 전의 과도기적 단계에서 LNG 추진선이 필요하다는 입장을 고수하고 있다.

글로벌 상위권에 위치한 컨테이너 선사들은 IMO의 온실가스(탈탄소) 규제에 대응하기 위해 친환경 연료를 이용할 수 있는 선박 도입에 적극적이

---

59) Alphalier(2024c), p.42

60) 로이즈리스트(2024)

다. 반면 중소형 선사들은 대체로 탈탄소 규제에 소극적으로 대응하는 경향이 있다. 2022년 말 시행되는 EEXI 규제에 대비하여 대부분의 선사들은 출력 제한 장치를 통해 탄소배출량을 줄이는 방안을 선택할 것으로 보인다. IMO 2020 규제 당시에도 원양 항로에 선박을 투입하는 대형 선사들과 중소형 선사들은 서로 다른 대응 전략을 취한 바 있다.

## 2. 미래 연료 수요 전망 시나리오

IMO(2020)의 연구에서는 미래 연료에 대한 시나리오를 2가지 방안으로 제시했다. 첫째, LNG와 메탄올과 같은 친환경 연료의 비중 시나리오가 기술진보에 따른 효과에 포함되어 있으며, 두 가지로 구분되어 있다. 첫째 시나리오에서는 2050년까지 이중연료 사용비중이 20%에 이르며 탄소중립 연료 비중도 20%에 이를 것으로 예상했다. 두 번째 시나리오에서는 2030년까지 이중연료 사용비중이 54%에 이르며 2050년까지 무탄소연료 비중이 100%에 이를 것으로 예상했다.

〈표 3-16〉 선박 연료 보급률

연료		2030년	2050년
LNG+FC, 메탄올+ICE 등 이중연료 사용	시나리오1	1.5%	20%
	시나리오2	54%	0%
탄소중립연료 (수소, 암모니아 등)	시나리오1	0.05%	20%
	시나리오2	0.1%	100%

주: ICE는 Internal Combustion Engine의 약자로 내연기관, FC는 Fuel Cell의 약자로 연료전지  
 자료: IMO(2020), p.275.

IEA(2021)에서 발표한 산업별 넷 제로(Net-Zero) 연구에서는 해운 분야는 저탄소 가능한 연료의 선택지가 적은 편이고 선박의 내용 연수 역시 25~35년에 이르기 때문에 2050년까지 넷-제로 달성이 어렵다고 전망했다.



하지만 매년 6%씩 탄소배출량을 감축하면 2050년에는 약 1.2억 톤으로 탄소배출량이 크게 감소할 것으로 예상했다(2020년 기준 8.4억 톤). 아울러 해운에서 2050년까지 연료별 사용량을 예측하였는데, 2050년 기준 암모니아 및 수소와 같은 무탄소 연료 비중이 63%까지 증가할 것으로 예상했다.

〈표 3-17〉 해운산업 연료 전망

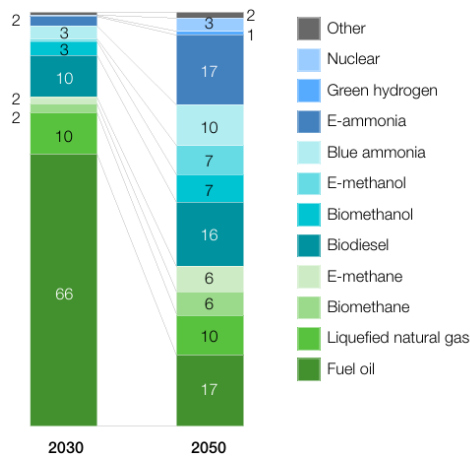
구분	2020	2030	2050
암모니아	0	8	46
수소	0	2	17
바이오에너지	0	7	21

단위: %

자료: IEA(2021), p.138.

맥킨지(2023)의 연구에서는 해운업계에 대한 설문조사를 통해 2050년까지 연료 비중을 전망했다. 2030년 약 66%의 화석연료 비중은 2050년 17%까지 낮아지며, E-암모니아의 비중은 17%, 바이오디젤의 비중은 16%까지 상승할 것으로 전망했다.

〈그림 3-15〉 2030~2050년 해운 연료 전망



자료: McKinsey & Company(2023), p.6.

현재의 HFO, LSFO와 같은 화석연료 기반의 선박 연료는 급진적으로 LNG, 메탄올 등을 사용하는 선박으로 전환될 가능성이 높다. 2024년 5월 컨테이너선 기준 약 390만 TEU의 친환경 연료선(LNG, 메탄올)이 발주되었다.<sup>61)</sup> 2024년 5월 기준 총 컨테이너 선대의 발주량은 624만 TEU로 이중 친환경 연료(LNG, 메탄올) 추진성의 비중이 62.4%로 나타났다.

〈표 3-18〉 친환경 연료선 발주 현황

선박 크기(TEU)	LNG 추진선 발주잔량 (TEU)	메탄올 추진선 발주잔량 (TEU)
>10,000	1,687,822	1,447,820
5,100-10,000	403,474	255,860
3,000-5,100	39,260	
<3,000	25,68	34,390
총합	2,155,824	1,738,170

자료: Alphaliner(2024b), 저자 계산

하지만 해운산업의 완전한 탄소배출량 넷-제로는 달성하기 어려울 것으로 예상된다. IMO는 2050년 해운산업의 넷-제로 실현을 목표로 제시했지만 IEA, 맥킨지의 연구에서도 실제 화석연료의 비중은 줄어들지만 일정 비중은 사용될 것으로 전망했다. 특히 메탄올, 암모니아 등 무탄소연료는 엔진 점화시 온도 문제로 인해 MDO와 같은 화석연료 기반의 연료가 필요하다. 따라서 완전한 무탄소 연료로의 전환은 기술적인 제약을 극복해야 한다.

IMO(2020), IEA(2021), 맥킨지(2023)의 해운산업의 연료에 대한 전망 시나리오를 바탕으로 이번 연구에 적용할 시나리오를 도출한다. 현재 2024년 4월 기준 컨테이너선은 대부분 화석연료기반으로 운항한다. LNG추진선은 94척으로, 약 121만TEU의 선대가 운항 중이다. 그러나 LNG 역시

61) Alphaliner(2024b), p.41.

화석연료이며 HFO, MGO에 비해 탄소배출 절감 효과가 20% 남짓에 그친다는 점에서 실질적으로 컨테이너선대의 99% 이상은 화석연료에 의존하는 것으로 추정된다.<sup>62)</sup>

〈표 3-19〉 2050년 화석연료 비중

단위: %

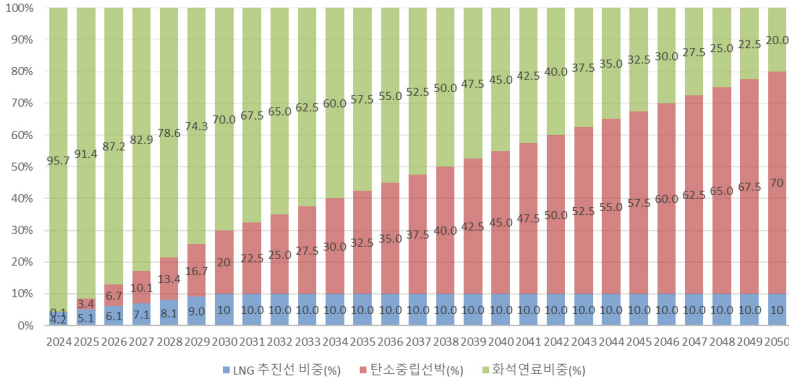
구분	2023	2030	2050
IMO(2020)	99 이상	46~98.45	0 ~ 80
IEA(2021)		83	16
맥킨지(2023)		76 (LNG 10% 포함)	27 (LNG 10% 포함)

자료: IMO(2020), pp. 274-275; IEA(2021), Netzero by 2050, p.138; McKinsey&Company(2023), p.6.

연료비중 시나리오는 IMO, IEA를 비롯해 해운산업의 연료사용 전망에 대한 보고서를 기반으로 설계한다. 아울러 연료 사용에 대한 시나리오는 현재 운영하는 선대가 아닌 신조발주 선대에 적용되는 것을 가정한다. IEA(2021)와 맥킨지에서 전망한 화석연료 비중의 평균을 이용해 목표치를 설정한다. 〈그림 3-15〉와 같이 LNG 연료는 2030년부터 2050년까지 10%를 유지한다는 맥킨지의 전망치를 이용하며 최종적으로 2050년 무탄소 연료의 비중은 70%로 설정한다. 화석연료는 매년 감소해 2050년 사용비중은 20%로 줄어드는 것으로 시나리오를 설계했다.

62) Alphaliner(2024b), p.42.

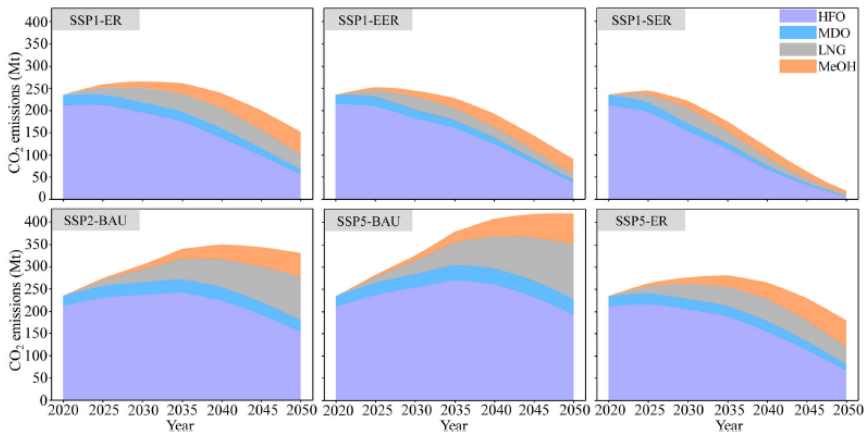
〈그림 3-16〉 연료별 사용 비중 추이 전망



자료: 저자 작성

이와 같은 연료 사용 전망은 Lu 외(2023)의 연구에서 제시한 시나리오에서도 나타난다. 동 연구에서는 공통사회경제경로(SSP, Shared Socio-economic Pathways)를 통해 컨테이너 연료 소모량 비중을 2050년까지 전망했는데 탄소배출량에 가장 엄격한 시나리오인 SSP1-SER에서도 최소 10% 이상의 화석연료 사용을 전망했다.

〈그림 3-17〉 컨테이너 해운산업 탄소배출량 전망

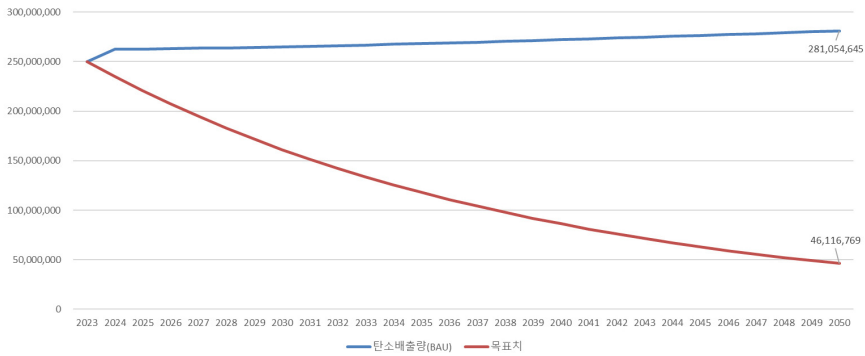


자료: Lu, B *et al.*(2023), p.5.

### 3. 컨테이너 선대 교체 수요 전망(신조/폐선)

이번 연구의 기준 연도는 2008년이다. IMO의 발표에서도 기준 탄소배출량 연도는 2008년으로 설정하고 있다. 다시 말해 시나리오에서 설계한 화석연료 사용량 20%는 2050년 탄소배출량이 2008년 대비 약 20% 수준임을 의미한다. 2008년의 탄소배출량은 약 2.3억 톤으로 추정되어 2050년 목표치는 약 4,612만 톤으로 설정된다.

〈그림 3-18〉 탄소배출량 목표치



자료: 저자 작성

목표치인 2050년 탄소배출량 4,612만 톤 이하를 달성하기 위해 다양한 시나리오를 적용해 실제적으로 탄소배출량을 절감할 수 있는 시나리오를 도출한다. 또한 목표치에 달성하는 시나리오에서 발생하는 신조 발주 수요량과 폐선 발생량을 제시한다. 2023년 EEXI 적용이후 A~C등급 선박과 D~E등급 선박 간의 선속 차이가 5% 이상 차이나는 것으로 나타나 이를 반영해 10%의 선속 감축을 적용했다. 해체율은 코로나 팬데믹 이전컨테이너 시장 10년간 해체율인 1.6%를 적용한다. 탈탄소 규제를 만족시키기 위해 해체와 동시에 친환경 선박으로 교체된다는 가정으로 기준 해체율인 1.6%인 2배(3.2%), 3배(4.8%)를 시나리오로 설정했다. 또한 2020년 팬데

믹 이후 높은 운임으로 인해 컨테이너선 해체량이 크게 감소해 자료의 편향성을 제거하기 위해 이전 자료를 활용한다. 또한 최소한의 선대 교체 수요를 파악하기 위해 슬롯당 8.0 TEU만큼 처리되는 선대 전망치를 기준 계산한다.

〈표 3-20〉 시나리오 설정

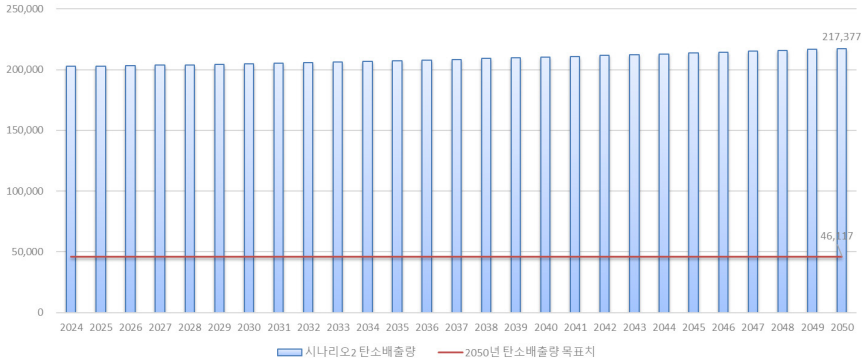
구분	기술	선박 운영	신조 선박 발주량(선박 연료보급률)
시나리오1	연간 0.52%씩 연료 효율성 향상 +EEDI 규제 적용	평균 선속 10% 감소	• 해체율 1.6%
시나리오2			• 2030년까지 LNG선 사용비중 10% • 2050년까지 무탄소연료 비중 70% • 화석연료 사용비중 20% • 해체율 1.6%
시나리오3			• 2030년까지 LNG선 사용비중 10% • 2050년까지 무탄소연료 비중 70% • 화석연료 사용비중 20% • 해체율 3.2%
시나리오4			• 2030년까지 LNG선 사용비중 10% • 2050년까지 무탄소연료 비중 70% • 화석연료 사용비중 20% • 해체율 4.8%

자료: 저자 작성

### 1) 시나리오1의 탄소배출량 추정

2023년 IMO의 현존선에 대한 규제 이후 대부분의 선사들이 실시하고 있는 감속운항으로 대응할 경우 2050년 탄소배출량은 약 2.1억 톤 이상 배출될 것으로 예상되어 목표치인 4,612만 톤을 크게 상회할 것으로 예상된다. 사실상 무탄소 연료선박의 비중이 늘지 않는다면 탈탄소 감축은 불가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

〈그림 3-19〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오1)

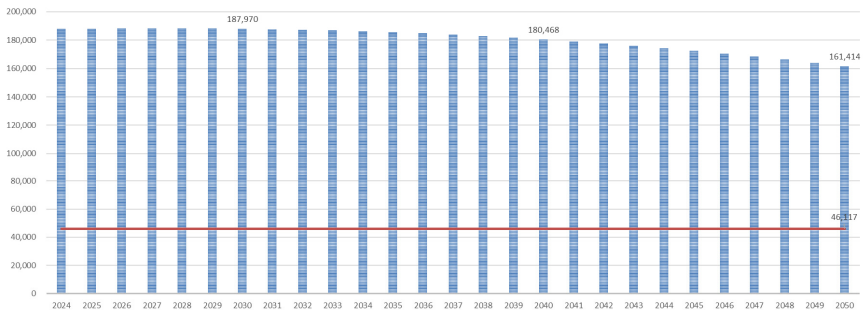


자료: 저자 추정

## 2) 시나리오2의 탄소배출량 추정

연식에 따른 연료소모량 감소와 함께 선속 감소가 10% 실시되고, 매년 1.6%의 신조 인도 선박의 일정 비중은 무탄소연료 선박으로 전환됨을 가정한 시나리오이다. 동 시나리오서 2050년 탄소배출량은 1.6억 톤으로 현재 발생하는 탄소배출량 2.3억 톤 대비 30% 감축되나 목표치인 4,612만 톤에는 충족하지 못하는 것으로 예상된다.

〈그림 3-20〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오2)

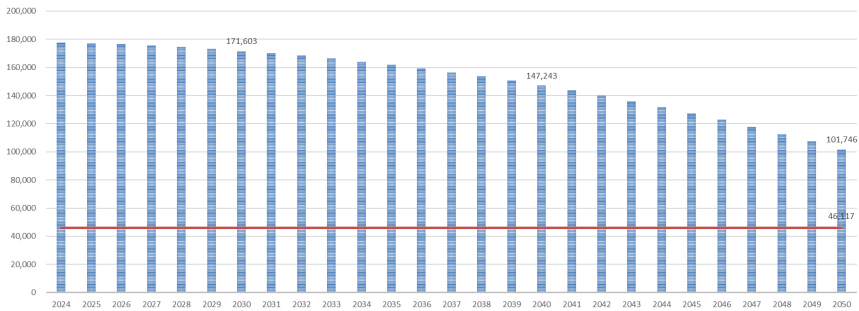


자료: 저자 추정

### 3) 시나리오3의 탄소배출량 추정

시나리오2와 동일하지만 매년 해체되어 신조 인조되는 선박의 비중이 최근 10년 비중의 2배인 3.2%인 경우를 가정한 시나리오이다. 동 시나리오에서 2050년 탄소배출량은 1억 톤으로 현재 발생하는 탄소배출량 2.3억 톤 대비 50% 이상 감축되나 목표치인 4,612만 톤에는 미치지 못했다.

〈그림 3-21〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오3)



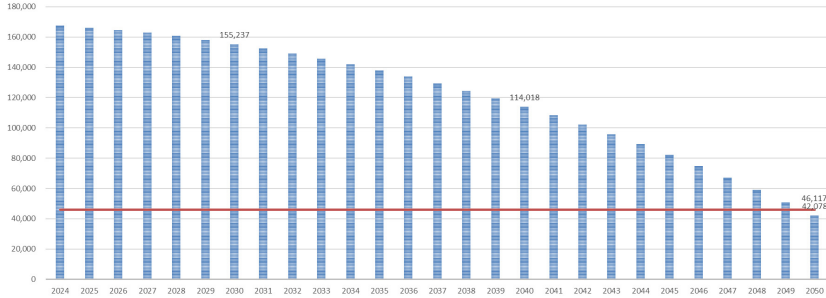
자료: 저자 추정

### 4) 시나리오4의 탄소배출량 추정

시나리오2와 동일하지만 매년 해체되어 신조 인조되는 선박의 비중이 최근 10년 비중의 3배인 4.8%인 경우를 가정한 시나리오이다. 동 시나리오에서 2050년 탄소배출량은 4,208만 톤으로 2050년 목표치인 4,612만 톤 이하로 나타났다. 이와 같은 연구 결과는 무탄소 선박으로의 전환이 매년 5%에 가까워야 IMO의 기준에 근접할 수 있다는 결론이다. 약 5%의 전환율은 IEA에서 제시한 매년 6%의 탄소배출 감축과도 유사한 결론이다. 매년 5%에 가까운 컨테이너선이 친환경선으로 교체되어야 하며 선속뿐만 아니라 연식에 따른 효율성 향상도 동시에 고려한 결과이다.



〈그림 3-22〉 연료별 사용 비중 추이 전망(시나리오4)



자료: 저자 추정

### 5) 신조 및 폐선 추정

2050년 탄소배출량 목표치를 만족하는 시나리오4를 기준으로 신조 인도량을 추정하면 다음과 같다. 3,000TEU급 이하 비중은 척수로는 가장 많으나 증가세는 소폭 감소하는데 반해 15,000TEU급 이상의 선대 인도량은 지속적으로 증가가 예상된다.

〈표 3-21〉 연도별 신조 인도량(8.0TEU/slot 기준)

단위: 척수, TEU

구분		3,000TEU 이하	3,000-7,999TEU	8,000-15,000TEU	15,000TEU 이상	합계
척수	2030	247	68	49	32	395
	2040	199	69	50	45	363
	2050	209	69	52	64	393
	연평균 증가율	-0.8	0.1	0.3	3.5	0.0
TEU	2030	372,823	376,750	575,252	672,551	1,997,376
	2040	316,096	397,381	620,859	1,005,423	2,339,759
	2050	331,240	398,208	636,614	1,427,976	2,794,038
	연평균 증가율	-0.6	0.3	0.5	3.8	1.7

자료: 저자 추정

2050년까지 폐선량을 추정하면 매년 100만TEU 이상의 선대를 무탄소 선박으로 교체해야 탄소배출량 목표치에 근접할 수 있다. 2020년부터 컨테이너 시장의 운임이 손익분기점을 상회함에 따라 폐선에 대한 수요가 낮아진 상황이지만 IMO의 탈탄소 규제가 구체적으로 확정된 이후에는 본격적인 폐선 수요가 증가할 것으로 예상된다.

〈표 3-22〉 연도별 폐선 발생량(8.0TEU/slot 기준)

단위: 척수, TEU

구분		3,000TEU 이하	3,000-7,999TEU	8,000-15,000TEU	15,000TEU 이상	합계
척수	2030	229	68	46	-	343
	2040	181	68	48	26	323
	2050	190	68	49	37	344
	연평균 증가율	-0.9	0.0	0.3	-	0.0
TEU	2030	344,110	371,122	541,001	-	1,256,233
	2040	287,013	394,082	587,826	583,727	1,852,648
	2050	301,742	396,186	604,703	831,748	2,134,379
	연평균 증가율	-0.7	0.3	0.6	-	2.7

자료: 저자 추정

## 제4절 소결

3장에서는 글로벌 컨테이너 선대 전망, 탄소배출량 추정, 선대 교체 수요를 분석했다. 이러한 분석을 통해 탄소 배출 규제에 대응하기 위한 글로벌 컨테이너 선대의 교체 수요를 시나리오별로 전망하였다.

---

컨테이너 선대 규모는 2050년까지 지속적으로 성장할 것으로 보인다. 세계 경제와 컨테이너 물동량의 증가에 따라, 2020년 약 5,874척이었던 선대는 2050년 약 7,167척에 이를 것으로 예상된다. 대형 선박(15,000TEU 이상)의 비중도 두 배 이상 늘어날 전망이다. 아울러 컨테이너선의 슬롯 회전율이 지금보다 낮아질 경우(7.5TEU/slot) 2020년 5,874척에서 2050년 7,644척으로 증가세가 높아질 것으로 전망된다. 슬롯 회전율 감소의 원인은 대형 선박 발주에 따른 슬롯 수 증가, 지정학적 이슈 및 공급망 차질로 인한 운송 주기 연장, 그리고 탄소배출 규제 대응을 위한 감속 운항이 있다. 이러한 요인들이 결합되면서 1슬롯당 처리 실적이 줄어들어 더 많은 선박과 용량이 요구될 것이다.

이어서 컨테이너 선대의 증가에 맞춰 운항에 필요한 연료소모량을 추정했다. 컨테이너선 DB를 활용해 선박 크기, 속도, 건조 연도 등의 고려한 연료소모량 추정식을 도출해 이를 선대에 적용해 탄소배출량을 분석하였다. 2023년 기준 컨테이너선의 연료 소모량은 약 8,027만 톤으로 추정되며, 특별한 조치가 없을 경우 2050년에는 약 9,026만 톤으로 증가할 것으로 예상된다. 이러한 연료 소모량 증가는 결국 탄소배출량 증가로 이어져, 2050년까지 약 2.8억 톤의 배출량이 예상된다. 감속 운항과 에너지 출력 제한 조치가 단기적인 대응책으로 활용되고 있지만, 장기적으로는 암모니아, 메탄올 같은 친환경 연료로의 전환이 불가피하다. 그러나 현재 이러한 연료의 도입 비중은 매우 낮아, 향후 기술 혁신과 함께 연료 효율성 개선이 절실히 요구된다.

컨테이너 선대의 탄소배출 감축을 위해 다양한 연료와 기술이 논의되고 있다. 현재 고유황유(HFO)를 대체할 연료로 LNG, 메탄올, 암모니아 등이 고려되고 있으며, 특히 메탄올은 저장 및 운송의 용이성 덕분에 주목받고 있다. 하지만 LNG와 메탄올 모두 저장 공간이 많이 필요하고, 탄소 배출 감축 효과는 제한적이기 때문에 수소와 암모니아 같은 무탄소 연료의 도입

이 필요하다. 다만 이들 연료 역시 저장 공간이 늘어날 수 밖에 없다는 단점이 있어 중소형 선박에 적용시 화물창에 대한 공간 손실이 불가피할 것으로 예상된다.

탄소 배출 감축을 위해 네 가지 시나리오가 제시되었다. 시나리오1에서는 선박 속도를 10% 감속해 1.6%의 해체율을 적용하는 경우로, 목표한 탄소배출량을 크게 초과할 것으로 보인다. 시나리오2는 LNG 사용 비중을 10%로 유지하며 무탄소 연료 비중을 70%까지 늘리려 하나, 2050년까지 목표치에 도달하지 못할 것으로 예상된다. 시나리오3에서 해체율을 3.2%로 증가시키면 탄소배출량을 절반 이하로 줄일 수 있지만, 여전히 목표에는 미치지 못한다. 마지막으로 시나리오4는 해체율을 4.8%로 설정해 탄소배출량을 4,612만 톤 이하로 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해서는 매년 약 100만 TEU 이상의 선대가 폐선되고, 새로운 무탄소 연료 선박으로 대체해야 하므로 준비가 필요하다.

컨테이너 선대의 확장과 환경 규제는 서로 밀접하게 연관되어 있으며, 이 두 가지 과제를 균형 있게 해결해야 할 필요가 있다. 선박 대형화와 물동량 증가가 선대 확장을 주도하는 가운데, 탈탄소 규제는 필연적으로 기술 혁신과 선대 교체를 요구하고 있다. 따라서, 글로벌 환경 규제와 해운 산업 성장 간의 균형을 맞추는 것이 필수적이며, 이를 통해 장기적인 경쟁력과 탄소 중립을 동시에 달성해야 한다.



# 04

## 국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망

### 제1절 국적 컨테이너 선대 현황 및 교체 수요 추정 방법 —

#### 1. 국적 선사 컨테이너 선대 운영 현황

우리나라 국적 컨테이너 선사들은 다양한 유형과 규모의 선박을 보유하고 있으며, 이들의 선박 재원은 해운 산업의 경쟁력과 효율성뿐만 아니라 환경 규제, 특히 탄소배출 규제와도 연관이 있다. <표 4-1>은 국적 선사들의 컨테이너 선박 보유 현황을 원양 선사 및 인트라 선사로 구분하여 각 주요 재원에 대한 내용을 담고 있다.

먼저 HMM과 SM상선과 같은 원양 선사는 주로 아시아-북미, 아시아-유럽과 같은 장거리 항로를 운항하는 선사들로, 현재 총 118척의 컨테이너 선박을 보유하고 있다. 이들 선박의 평균 톤수는 99,801톤이며, 이는 선박의 크기와 용적을 나타내는 지표로 사용된다. 선박이 운반할 수 있는 최대 화물의 무게를 의미하는 재화중량톤수(DWT)는 평균 107,240톤이다. 평균 TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)는 9,887TEU로 나타났으며, 앞서 설명한 재화중량톤수 등을 고려하면 원양선사는 장거리를 운항하며, 운

---

영의 효율성을 위해 비교적 적재량이 큰 대형 선박으로 이루어져 있다. 우리나라 국적 원양 선사의 평균 선령은 10년으로 전체 국컨테이너 선박의 평균 선령보다 낮은 것으로 나타났다.

탄소배출 규제와 관련하여, 원양 선사들은 높은 재화중량톤수와 많은 TEU를 통해 한 번의 항해로 많은 화물을 운송할 수 있어, 효율적으로 연료 사용 및 탄소배출을 줄일 가능성이 있다. 그러나 상대적으로 낮은 선령의 대형 선박이 더 최신의 연료 효율적인 기술을 도입하는 데 유리할 수도 있지만, 대형 선박의 탄소배출 총량은 여전히 규제 준수를 위한 중요한 고려 사항이다.

한편, 국적 인트라 선사는 주로 한-중-일 서비스와 같은 근거리 항로를 운항하는 선사들로, 총 238척의 컨테이너 선박을 보유하고 있다. 인트라 국적 선박의 평균 톤수는 18,492톤이며, 평균 재화중량톤수는 22,843톤이다. 평균 TEU는 1,789TEU로, 원양 선사에 비해 상대적으로 적은 수의 컨테이너를 운송할 수 있다. 평균 선령은 15년으로, 원양 선사에 비해 선령이 높은 편이다. 주요 인트라 선사로는 고려해운, 흥아해운, 장금상선, 남성해운, 천경해운, 동영해운, 동진상선, 팬오션 등이 있다.

인트라 선사들의 경우, 더 적은 수의 컨테이너를 운송하므로 개별 선박의 탄소배출량은 상대적으로 낮을 수 있지만, 평균 선령이 높아 연료 효율이 떨어질 가능성이 있다. 따라서, 이러한 선사들은 탄소배출 규제 준수를 위해 노후 선박의 교체 및 최신의 연료 효율적인 기술 도입이 필요하다.

전체 국적 선사들은 총 356척의 컨테이너 선박을 운영하고 있으며, 평균 톤수(GT)는 45,443톤이다. 전체 선박의 평균 재화중량톤수는 50,818톤, 평균 TEU는 4,473TEU로 나타났다. 원양 선사와 인트라 선사 모두를 포함한 전체 국적 컨테이너 선사의 평균 선령은 13년으로 나타났다.

국적 컨테이너 선사들의 선박 재원, 특히 톤수, 재화중량톤수, TEU 및 선령과 같은 지표는 해운 산업의 경쟁력과 효율성을 간접적으로 측정할 수 있어 중요하다. 뿐만 아니라, 탄소배출 규제를 준수하기 위한 주요 요소이기도 하다. 원양 선사들은 큰 톤수와 높은 재화중량톤수, 많은 TEU를 통해 장거리 원양 항로에서 효율성을 극대화하며, 인트라 선사들은 비교적 작은 규모의 선박들로 근거리 항로에서 효율적인 운송 서비스를 제공하고 있다. 따라서, 전체적으로 국적 선사들은 다양한 선박 재원을 통해 국내외 해운 시장에서의 경쟁력을 유지하면서, 탄소배출 규제 준수를 위해 지속적인 노력과 투자가 필요하다.

〈표 4-1〉 국적 선사 컨테이너 선대 운영 현황

구분	총 척수	평균 톤수	평균 재화중량톤	평균 TEU	평균 선령	소속 선사
원양 선사	118	99,801	107,240	9,887	10	HMM, SM
인트라 선사	238	18,492	22,843	1,789	15	고려, 흥아, 장금, 남성, 천경, 동영, 동진, 팬오션 등
전체	356	45,443	50,818	4,473	13	-

자료: Clarkson World Fleet Register(2024)(검색일: 2024.7.15.)

〈표 4-2〉는 국적 선사들이 실제로 보유하고 있는 컨테이너 선박들의 주요 재원을 나타낸다. 원양 선사와 인트라 선사를 기준으로 선박 수, 평균 톤수, 재화중량톤수, TEU 및 선령 등을 비교한다.

먼저 국적 선사들이 보유한 선박은 총 233척이며, 평균 톤수는 48,239톤, 평균 재화중량톤수는 53,790톤, 평균 TEU는 4,797TEU로 집계되었다. 전체 선박의 평균 선령은 10년으로 나타났으며, 이는 국적 선사들이 효율적이고 경쟁력 있는 해운 서비스를 제공하기 위해 다양한 연령대와 크기의 선박을 운용하고 있음을 보여준다.



원양과 인트라 선사로 구분하여 살펴보면 원양 선사는 총 71척의 컨테이너 선박을 보유하고 있으며, 이들의 평균 톤수는 114,068톤으로 대형 선박을 주로 운용하는 모습을 보여준다. 재화중량톤수(DWT)는 121,254톤, 평균 TEU는 11,459TEU로, 앞서 설명한 바와 같이 장거리 항로에서의 대량 운송 효율성을 증시하는 원양 선사의 특징이 반영되었다. 이들의 평균 선령은 9년으로 최신 기술을 활용한 선박 운용을 통해 연료 효율을 높이고자 하는 노력이 엿보인다.

인트라 선사의 경우, 총 162척의 선박을 보유하고 있으며, 평균 톤수는 19,388톤으로 비교적 소형 선박들이 주를 이루고 있다. 이들의 평균 재화중량톤수는 24,223톤, 평균 TEU는 1,878TEU로, 근거리 항로의 아시아 중소형 항만에 접안하기 용이한 상대적으로 작은 선박 위주의 선대 구성임을 확인할 수 있다. 평균 선령은 11년으로, 노후 선박에 대한 교체가 향후 중요한 과제로 다가올 수 있다.

〈표 4-2〉 국적 선사 컨테이너 보유 선대 운영 현황(2024년 기준)

구분	총 척수	평균 톤수	평균 재화중량톤	평균 TEU	평균 선령	소속 선사
원양 선사	71	114,068	121,254	11,459	9	HMM, SM
인트라 선사	162	19,388	24,223	1,878	11	고려, 흥아, 장금, 남성, 천경, 동영, 동진, 팬오션 등
전체	233	48,239	53,790	4,797	10	-

자료: Clarkson World Fleet Register(2024)(검색일: 2024.7.15.)

## 2. 국적선사 컨테이너선대 교체 수요 전망 방법론

컨테이너 선박의 교체 수요를 전망하는 방식은 다양하다. 첫째, 선박의 내용연수를 기준으로 일정기간 후에 교체한다는 가정으로 수요를 전망할 수 있다. 둘째, IMO의 탈탄소규제를 통해 선대 교체 수요를 전망할 수 있다. 셋째, 한계저감비용(MAC)을 이용해 비용적인 측면을 고려해 선대 교체 수요를 추정할 수 있다. 이번 연구에서는 탈탄소 규제인 탄소집약도를 이요하는 방식과 한계저감비용을 이용하는 방식에 대해서 살펴보고 장단점을 통해 국적선사 컨테이너 선대 교체 수요를 전망한다.

### 1) 탈탄소 규제(CII)<sup>63)</sup>

컨테이너 선박의 탄소 집약도 지표(CII)는 국제해사기구(IMO) 규제에 따라 선박의 운항 효율성을 평가하고, 이를 기반으로 탄소배출을 줄이기 위한 중요한 지표로 사용된다. Required CII는 선박의 연간 탄소 집약도 목표를 설정하는 지표로, 선박이 얼마나 효율적으로 운항하며 CO<sub>2</sub> 배출을 줄일 수 있는지를 평가하는 기준으로 사용된다. 이를 통해 선박 소유자와 운영자는 연간 운항 데이터를 바탕으로 실제 CII(Attained CII)를 계산하고, 이를 Required CII와 비교하여 규제 준수 여부를 평가한다.

기존 선박의 실제 CII(Attained CII)를 평가하는 방법은 각 연료의 소비량을 연료의 비차원 변환 계수로 곱한 값을 선박의 평균 적재 능력과 총 운항 거리의 곱으로 나누어 계산하는 것이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다:

$$\text{Attained CII} = \frac{\sum FC_j \times CF_j}{C \times D_j} \quad (1)$$

63) Schroer, M., Panagakos, G., & Barfod, M. B.(2022) 참조

여기서  $FC_j$ 는 각 연료의 소비량(그램),  $CF_j$ 는 연료의 비차원 변환 계수,  $C$ 는 선박의 평균 적재 능력(톤),  $D$ 는 총 운항 거리(해리)를 의미한다. 이 계산식은 실제 선박 운항 데이터를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하는 데 사용된다.

계산된 실제 CII(Attained CII)를 Required CII와 비교하여 규제 준수 여부를 평가한다. Required CII는 특정 기준 연도의 데이터를 기반으로 설정된 CII 기준값과 감축 계수를 곱하여 계산된다. 감축 계수는 매년 강화되는 CII 목표를 반영하기 위해 사용되며, 기준 연도 대비 목표 연도에 달성해야 할 감축 비율을 나타낸다. Required CII는 다음과 같은 공식으로 계산된다:

$$\text{Required CII}_k = \text{CII 기준값} \times (1 - \text{감축계수}_k) \quad (2)$$

이 공식에서 감축계수 $k$ 는  $k$ 년도의 감축 비율을 의미한다. 선박의 실제 CII를 계산한 후, 해당 값을 기준으로 선박은 A부터 E까지의 등급으로 분류된다. A등급은 매우 우수한 성능을 나타내며, E등급은 가장 열등한 성능을 나타낸다. 만약 선박이 3년 연속 D등급을 받거나 1년 동안 E등급을 받으면, SEEMP(Ship Energy Efficiency Management Plan)의 일환으로 교정 조치 계획을 개발해야 한다. 이는 선박의 운항 효율성을 높이기 위해 기술적 또는 운영적 조치를 취해야 함을 의미한다.

〈표 4-3〉 CII 등급

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
매우 우수	우수	보통	다소 열위	열위

자료: carbonchain(2024), (검색일: 2024.7.15.)

기술적 업그레이드로도 CII를 준수할 수 없는 선박은 교체가 필요하다. 이 경우, 선박의 교체 주기를 설정하고, 경제적 타당성, 규제 준수 요구사항, 기술적 업그레이드의 효과 등을 종합적으로 평가하여 선박 교체 계획을 수립한다. 선박 교체 주기는 선박의 운항 효율성, 유지 보수 비용, 신기술 도입 가능성 등을 고려하여 결정된다.

최종적으로, 설정된 교체 주기와 계획에 따라 선대를 교체한다. 교체된 새로운 선박은 최신 기술과 설계를 적용하여 에너지 효율성을 높이고, CII 규제를 준수하도록 한다. 이렇게 CII를 준수하기 위한 컨테이너 선박의 선대 교체 방법은 실제 CII 평가, Required CII와의 비교, 선박 교체 계획 수립 및 선대 교체 실행의 단계를 통해 이루어진다.

## 2) 한계저감비용(MAC)<sup>64)</sup>

한계저감비용(MAC: Marginal Abatement Cost)을 활용한 컨테이너 선대 교체 방법은 경제적 효율성과 환경적 효율성을 동시에 고려하여 선대 교체를 최적화하는 데 중점을 둔다. 이 방법은 다양한 저감 기술의 비용과 탄소 저감 효과를 평가하고, 가장 비용 효율적인 방안을 선택하여 선박을 교체하는 과정까지 포함한다.

먼저, 선박의 현재 상태와 운영 효율성을 평가하는 것이 중요하다. 각 선박의 연료 소비량, 운항 거리, 적재 능력 등의 데이터를 수집하고 분석한다. 이러한 데이터는 각 선박의 탄소배출량을 평가하는 데 필수적이며, 이를 기반으로 현재의 탄소 집약도(CII)를 산출할 수 있다. 이 과정에서는 각 연료의 비차원 변환 계수를 고려하여 보다 정확한 탄소배출량을 평가한다.

다음으로, 선박의 탄소배출 저감 목표를 설정한다. 이는 국제해사기구

64) de Oliveira, M. A. N., Szklo, A., & Branco, D. A. C.(2022) 참조

---

(IMO)와 같은 규제 기관에서 설정한 목표 등을 참고하여, 선박의 연간 탄소배출량을 줄이는 데 필요한 목표를 설정한다. 이러한 목표는 선박의 교체 필요성을 평가하는 중요한 기준이다.

그 후, 다양한 저감 기술과 운영 전략을 평가한다. 여기에는 엔진 업그레이드, 연료 전환, 에너지 효율 장치 설치, 최적 항로 설정 등이 포함된다. 각 기술적 옵션의 설치 비용과 운영 비용을 평가하고, 각 옵션의 탄소배출 저감 효과를 산출한다. 이를 통해 각 기술적 옵션의 총 비용과 총 탄소배출 저감량을 계산한다.

MAC을 계산하는 공식은 다음과 같다:

$$MAC = \frac{\text{저감 기술의 총비용} - \text{기존 기술의 총비용}}{\text{저감된 탄소 배출량}}$$

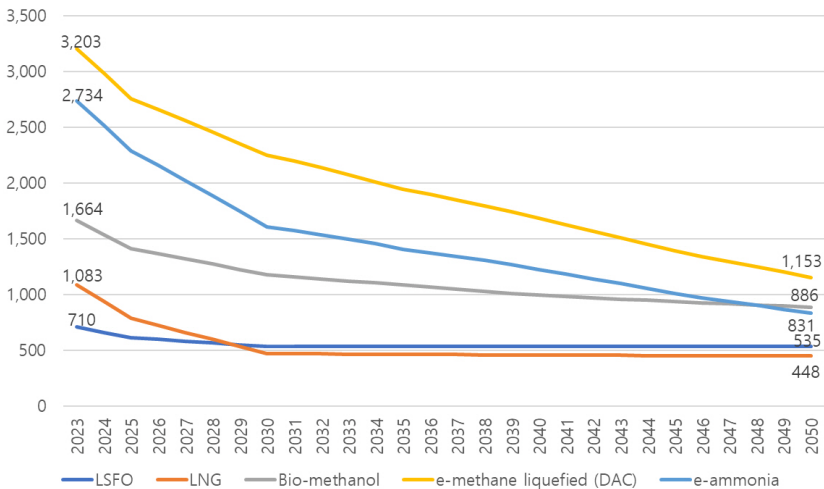
여기서 총 비용에는 설치 비용, 운영 비용, 유지 보수 비용 등이 포함되며, 저감된 탄소배출량은 저감 기술을 도입한 후 절감된 CO<sub>2</sub> 배출량을 의미한다. 이를 통해 각 기술적 옵션의 단위 탄소배출 저감량당 비용을 산출한다. 동 결과를 통해 가장 경제적인 기술적 옵션을 선택한다. 이는 각 옵션의 MAC을 비교하여 가장 비용 효율적인 방안을 선택하는 과정이다. 예를 들어, 특정 연료 전환 기술이 가장 낮은 MAC을 가지고 있다면, 해당 기술을 적용하는 것이 바람직하다. 이를 통해 선박의 에너지 효율성을 높이고, 탄소배출을 줄일 수 있다.

선택된 기술적 옵션을 적용하여 선박의 에너지 효율성을 높이고, 탄소배출을 줄인다. 또한, MAC 분석을 통해 각 기술적 옵션의 경제성을 비교함으로써, 가장 비용 효율적인 방안을 선택할 수 있다. 이러한 과정을 통해 선박의 교체 주기를 설정하고, 경제적 타당성, 규제 준수 요구사항, 기술적 업그레이드의 효과 등을 종합적으로 평가하여 선박 교체 계획을 수립한다.

선박 교체 계획에 따라 교체된 새로운 선박은 최신 기술과 설계를 적용하여 에너지 효율성을 높이고, 규제를 준수하도록 한다. 이는 선박 교체가 단순히 노후 선박을 대체하는 것이 아니라, 더 높은 에너지 효율성과 낮은 탄소배출을 달성하기 위한 중요한 과정임을 의미한다.

결론적으로, 한계저감비용(MAC)을 활용한 컨테이너 선대 교체 방법은 탄소배출 저감을 위한 다양한 기술적 옵션의 경제성을 평가하고, 가장 비용 효율적인 방안을 선택하여 선박의 교체 시기와 수요를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 이를 통해 국제 해운의 지속 가능성을 높이고, 탄소 배출을 줄이는 데 기여할 수 있다. MAC 분석은 경제적 타당성과 환경적 효율성을 동시에 달성하기 위한 필수적인 과정이며, 장기적인 전략 수립과 정책 결정에도 중요한 역할을 한다. 다만, 이 경우 경제적 타당성 분석을 위해 다양한 전망치가 포함되어야 하는 단점이 있다. 저감비용 중 가장 크게 투입될 것으로 예상되는 연료별 가격은 장기 전망에 의존할 수밖에 없다.

〈그림 4-1〉 연료별 가격 전망(~2050)

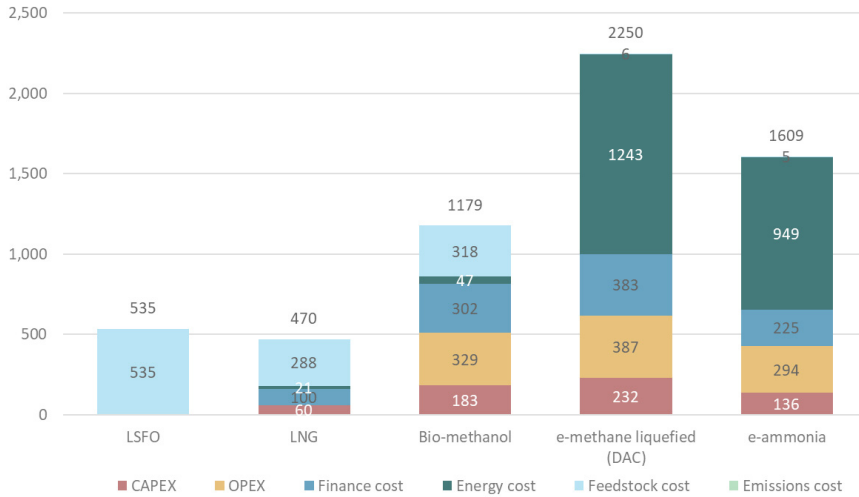


주: LSFO 1톤당 같은 열량으로 환산했을 때 가격임

자료: Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping(2024)(검색일: 2024.9.17.)

이외에도 한계저감비용을 이용해 선대 교체 수요를 추정하는 방식은 자본비, 운영비, 연료비, 탄소배출세 등 다양한 자료를 전망해서 추정해야 한다. 특히 탄소배출에 대한 세금이 현재 정해지지 않은 상황에서 향후 어떠한 연료를 사용하는지에 따라 비용 차이가 클 것으로 예상된다. 머스크 매키니 몰러 센터의 자료에 따르면 톤당 탄소세가 0원인 경우 저유황유의 경우 톤당 총 비용은 535달러이지만 탄소배출량에 톤당 300달러의 세금이 부과될 경우 톤당 가격은 1,647달러로 예상된다.

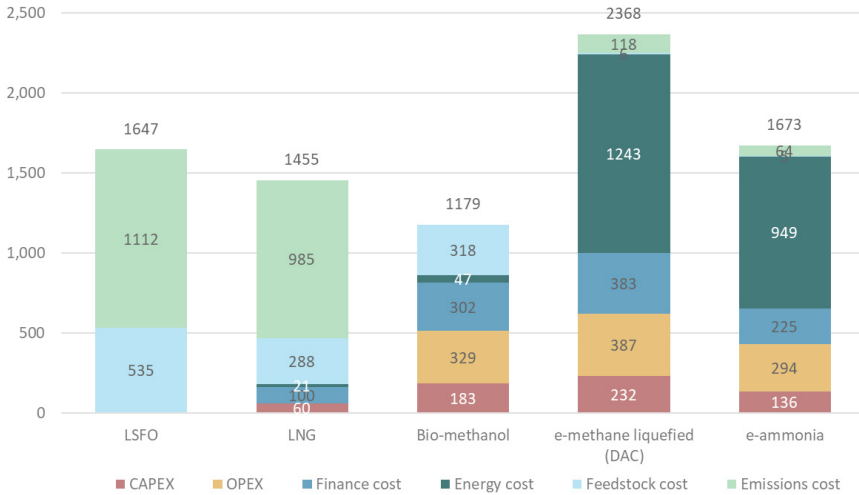
〈그림 4-2〉 연료별 가격 구성 항목 및 비중(2030년 기준\_탄소세 제로)



주: LSFO 1톤당 같은 열량으로 환산했을 때 가격임

자료: Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping(2024)(검색일: 2024.9.17.)

〈그림 4-3〉 연료별 가격 구성 항목 및 비중(2030년 기준\_탄소세 톤당 300달러)



주: LSFO 1톤당 같은 열량으로 환산했을 때 가격임

자료: Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping(2024)(검색일: 2024.9.17.)

## 제2절 국적 컨테이너 선대 교체 수요 전망

### 1. 국적 컨테이너 선대 교체 수요 추정 프로세스

국적 컨테이너 선대 교체 수요를 추정하기 위한 선박의 내용연수, CII 등급, 한계저감비용을 이용하는 등 다양한 방법이 있지만 이번 연구에서는 CII 등급을 이용해 추정·전망한다.

CII 등급을 활용한 교체 수요를 전망하는 이유는 첫째, IMO에서 제시한 감축량에 대한 규제가 가장 명확하다. CII는 2019년 1%, 이후 매년 2%씩 감축을 2026년까지 실시해야 하는 명확한 규제가 제시되어 있다. 물론



---

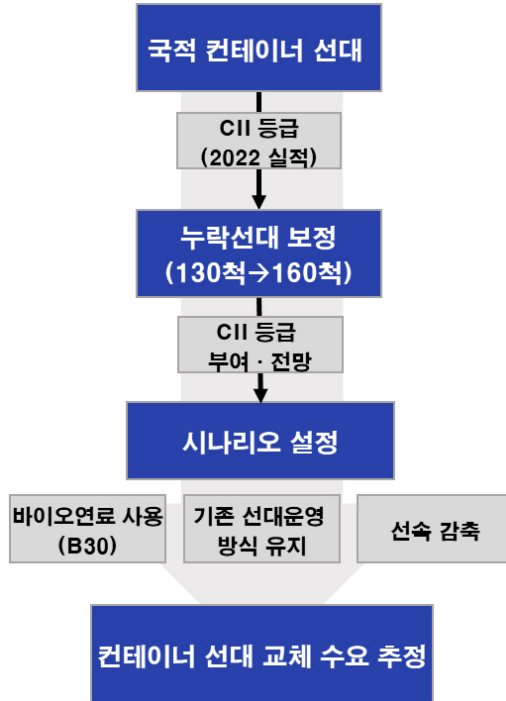
2027년부터 규제는 미확정되어 있지만 IMO의 넷-제로 정책에 맞춰서 실시될 예정이기 때문에 추정이 가능하다. 둘째, 한계저감비용을 이용하는 방법론은 저감기술 총비용을 추정해야 한다. 현재 탄소배출 감축을 위한 방법론이 확정되어 있지 않아 다양한 시나리오를 통해 교체 수요를 전망해야 한다는 단점이 있다. 한계저감비용을 이용하는 방식은 온실가스 배출량 저감에 따른 비용을 가늠할 수 있게 해준다는 측면에서 의미가 있다.

이번 연구에서는 CII 등급을 이용해 교체 수요를 전망하지만 현실적으로 적용하고 있는 선속 감소, 바이오연료를 이용하는 경우를 시나리오에 추가해 교체 수요를 전망한다. 컨테이너 교체 수요를 추정하기 위해 선박 검사기관에서 실제 연료사용량을 기반으로 작성된 attained CII값을 활용한다. 다만 동 자료의 컨테이너 선대는 130척으로 나타나 실제 우리나라 컨테이너 선사가 보유한 175척에 대한 자료를 모두 확보할 수 없어 클락슨에서 발행하는 World Fleet Register 자료를 활용해 국적선사가 보유했으나 누락된 선박을 추가적으로 산입해서 보정했다.<sup>65)</sup> 이번 연구에서 활용되는 척수는 약 160척 내외이며 이들 선박에 대해 i) 현재 선대 운영방식 유지, ii) 선속 감소, iii) 바이오연료 사용으로 시나리오를 설정해 컨테이너 선대 교체 수요를 추정한다. CII 등급에 따른 교체 시기는 E등급이 발생하는 다음해를 가정했다. 실제로는 3년 연속 D등급, E등급이 부여된 선박은 시정조치계획을 선박에너지효율관리계획서(SEEMP, ShipEnergy Efficiency Management Plan)에 제출해서 기국 승인을 받아야 한다.

---

65) 한국해운협회(2023), p.14.

〈그림 4-4〉 컨테이너 교체 수요 추정 프로세스

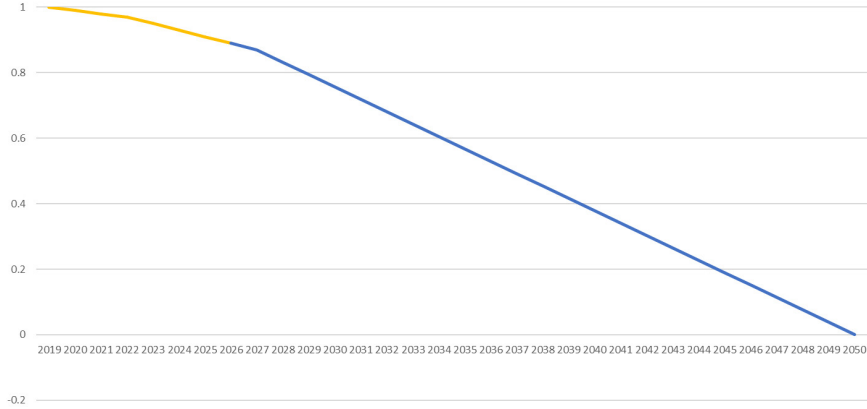


자료: 저자 작성

## 2. 현재 선대 운영방식 유지(시나리오1)

시나리오1은 2022년 운항 실적을 유지하면서 향후에도 탄소배출량이 큰 변화가 없이 지속될 것으로 예상된다. 다만 2027년부터 탄소배출량 감축량에 대한 규제가 현재 확정되어 있지 않아 이는 2050년 넷-제로 달성을 위한 감축률을 계산해 적용했다.

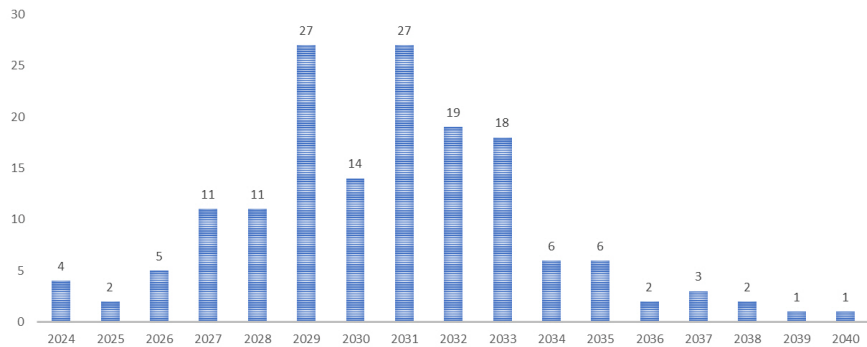
〈그림 4-5〉 2019년 대비 연도별 탄소배출량 감축 기준(추정치)



자료: 저자 작성

〈그림 4-6〉에서 나타나듯이 시나리오1을 통해 선박 교체 수요를 추정할 결과 국적 컨테이너 선대 대부분이 2033년 이전에 폐선하는 것으로 나타났다. 국적선사가 보유하고 있는 컨테이너 선대의 60% 이상인 105척의 선박이 2029~2033년 사이에 교체되어야 하는 것으로 나타났다. 2040년 이후에는 운항 가능한 현존선이 없을 것으로 예상된다. 이에 본격적인 운항 중단이 예상되는 2029년 이전에 선박 발주가 필요하다.

〈그림 4-6〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오1)



자료: 저자 작성

### 3. 선속 감소를 통한 대응(시나리오2)

컨테이너 선속 감소에 대한 시나리오를 설정하기 위해 현재 국적 선대의 운항이 속도를 전체 컨테이너 선대와 비교했다. 이를 위해 2023년 7월 1일부터 12월 31일까지의 6개월간 AIS 데이터를 기반으로 총 48척의 국적 컨테이너선에 대한 실제 운항 선속을 분석한 결과 컨테이너 전체 선대의 평균과 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

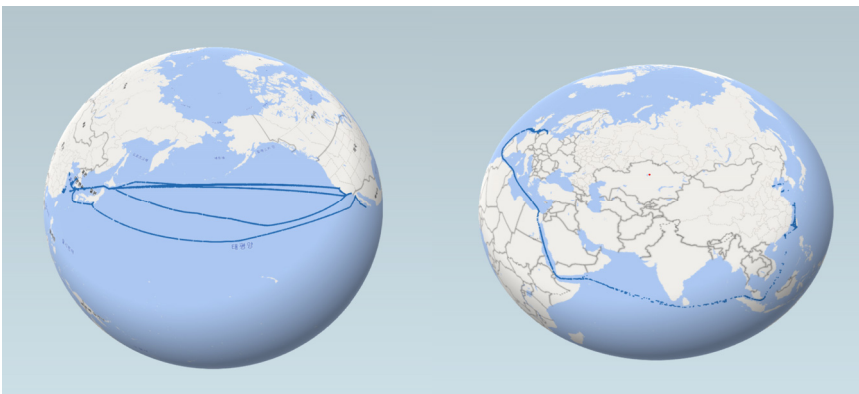
〈표 4-4〉 선박 크기별 선속

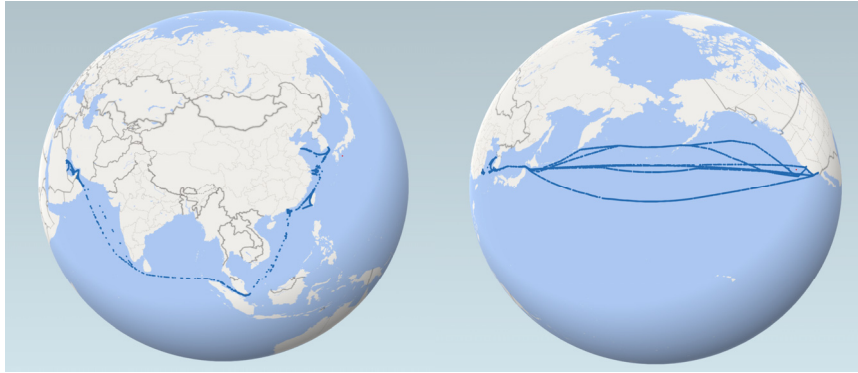
단위: knots

선박 크기(TEU)	국적선대			전체 선대
	평균	최소	최대	평균
3,000~7,999	14.6	12.9	16.1	14.7
8,000~14,499	15.1	13.8	16.5	14.9
15,000~	14.9	13.9	16.0	15.0
종합	14.9	13.6	16.2	14.5

자료: 국적선대는 AIS 데이터를 분석하여 저자 작성, 전체 평균은 클락슨(검색일: 2024.9.4.)

〈그림 4-7〉 컨테이너선의 실제 운항항로(2023.7-12)

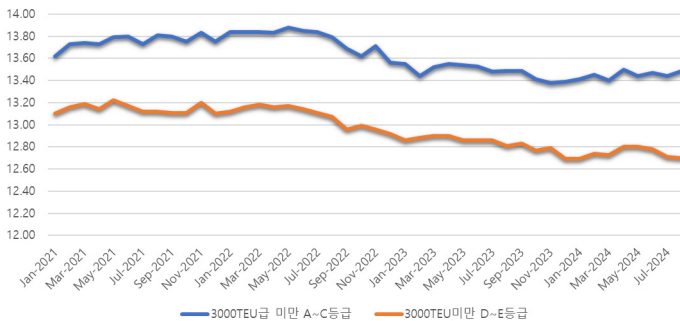




자료: AIS 데이터를 분석하여 저자 작성

실제적으로 선속 감소가 얼마나 나타나는지 알아보기 위해 3,000TEU 미만의 선대에서 A~C등급과 D~E등급간의 선속 차이를 살펴봤다. <그림 4-8>에서 나타났듯이 2023년 기준 3,000TEU급 미만의 선박에서 A~C등급 평균선속은 13.5노트인데 반해 D~E등급은 12.8노트로 5% 정도 평균선속이 낮은 것으로 나타났다.<sup>66)</sup> 3,000TEU급 이상의 선박은 대부분 등급이 높게 나와 3,000TEU급 미만을 기준으로 했다. 또한 국적 원양선사를 제외한 대부분의 국적선사들이 보유한 선박이 3,000TEU급 미만으로 나타났다.

<그림 4-8> A~C등급과 D~E등급 선박의 선속 추이



자료: 클락슨(2024)(검색일: 2024.9.4.)

66) 클락슨(2024), (검색일: 2024.9.4.)

선속 감소가 탄소배출량에 얼마나 영향을 미치는지 살펴보기 위해 3장에서 실시한 모델을 기준으로 연료소모량 감축비율을 추정했다. 3장에서 분석한 자료는 선박의 크기가 TEU로 되어 있으나 CII는 DWT를 기준으로 되어 있어 이에 대한 보정이 필요해 변수를 일부 수정했다. <표 4-5>를 통해 확인할 수 있듯이 변수를 수정(TEU→DWT)해 분석한 결과 선속 1% 감축시 약 2.5%의 연료 소모량이 줄어드는 것으로 나타났다. 이를 기반으로 5% 감축을 시나리오로 설정해 CII 등급을 추정·전망했다.

〈표 4-5〉 선형회귀분석 결과

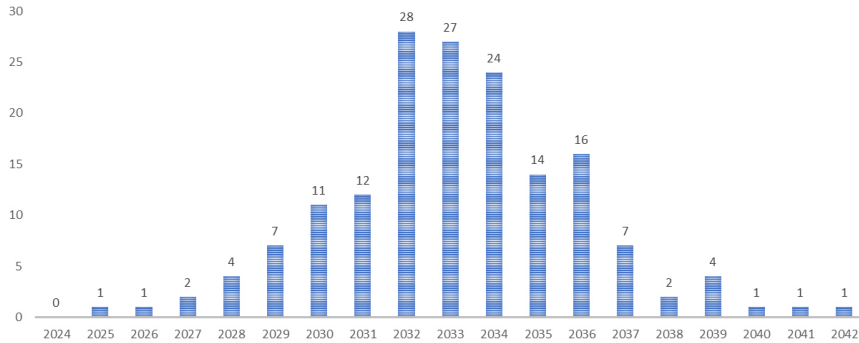
변수	모델1
상수항	-3.974603*** (-5.920627)
선속	2.500151*** (1371489)
선박크기(DWT)	0.509013*** (146.7982)
건조연도	-0.002266*** (-6.706552)
EEDI(더미)	-0.189778*** (-24.71792)
$\bar{R}^2$	0.959228

주: \*\*\*는 각 1% 수준에서 계수가 유의함을 의미  
자료: 저자 작성

〈그림 4-9〉를 보면 시나리오2을 통해 선박 교체 수요를 추정한 결과 국적 컨테이너 선대의 교체 수요가 시나리오1에 비해 2~3년 연기되는 효과를 가져왔다. 폐선 수요는 2032~2036년도에 집중돼 109척의 교체 수요가 발생하는 것으로 나타났다. 감속을 통해 선박 운영시기를 2~3년 늘릴 수 있기 때문에 선사들은 단기적으로 활용하기 용이할 뿐만 아니라 선속 감소에 따른 연료 소모량 절감 효과까지 장점으로 얻을 수 있다. 하지만

선속 감소에 따라 서비스에 투입되는 선박이 증가해야 될 경우 오히려 자본비에 대한 부담이 더 커질 수 있어 선속 감소와 추가 선박 투입간의 관계에 대해 검토가 필요하다.

〈그림 4-9〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오2)

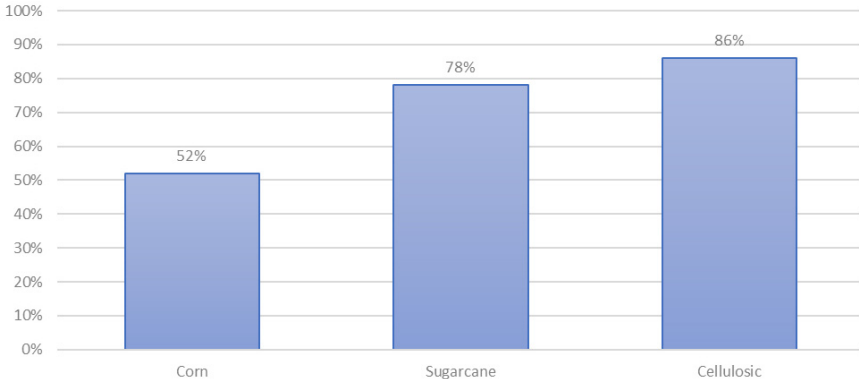


자료: 저자 작성

#### 4. 바이오연료 사용을 통한 대응(시나리오3)

2023년 IMO가 MEPC 80차 회의에서 바이오연료 임시 사용을 승인하면서 선사들은 단기적으로 탄소배출 규제에 대응할 수 있게 됐다. 바이오연료는 세대별로 감축량이 다르지만 생산 원료에 따라서도 상이하다. 옥수수를 이용하는 방식은 탄소배출 감축률이 52%인데 반해 셀룰로오스를 이용하는 방식은 86%에 달하는 것으로 나타났다.

〈그림 4-10〉 바이오연료 생산 원료에 따른 탄소배출 감축률



자료: WEF(2024)

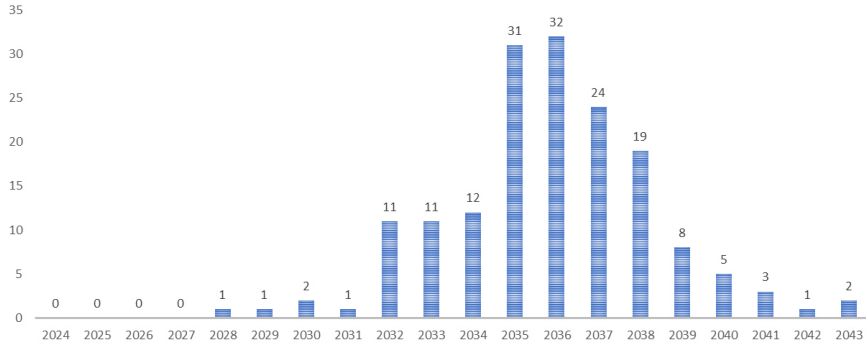
해운에서는 일반적으로 바이오연료는 선박연료유에 20% 섞는 B20이나 30% 섞는 B30이 사용되고 있다. 이번 시나리오에서는 국적선사가 실증사업으로 실시한 B30을 사용한다고 가정해 선대 교체 수요를 추정한다. B30 사용으로 탄소배출 감축률은 24.3%로 추정되어 이를 적용한다.<sup>67)</sup>

〈그림 4-11〉은 시나리오3을 적용했을때의 결과이다. 바이오연료(B30)를 사용할 경우 시나리오 1에 비해서 약 5~6년 교체시기가 연기되는 효과를 가져오는 것으로 분석되었다. 다만 시나리오3은 100% 바이오연료 사용을 가정한 경우라는 점을 고려해야 한다. 현재 바이오연료 공급이 원활하지 않고 무엇보다 연료 가격이 현재 HFO에 비해 높기 때문에 사용에 제약이 있을 것으로 예상된다.

67) 류영수(2024), p.50, 바이오성분혼합 비율 30%일 때: 14.9g CO<sub>2</sub>eq/MJ



〈그림 4-11〉 연도별 선박 교체 수요(시나리오3)



자료: 저자 작성

하지만 바이오연료를 연중 사용하는 방식이 아닌 3년 연속 D등급 이후 연도에 증점적으로 사용해 등급을 C로 변경하고 이후에 D등급에 맞춰서 운항하는 방식을 활용하면 투입비용을 최소화할 수 있다. 실제 선사들은 〈표 4-6〉과 같이 등급 조정 시에만 바이오연료를 사용하는 가능성이 제기 되는 것도 이와 같은 이유 때문이다.

〈표 4-6〉 선박 등급에 따른 바이오연료 사용 시점

선박 크기(TEU)	연도							
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
목표등급	D	D	D	C	D	D	D	C
				바이오연료 사용				바이오연료 사용

자료: 저자 작성

### 제3절 소결

국적 컨테이너 선사들은 원양과 인트라 선사로 구분되어 운영되고 있다. 원양 선사는 총 118척의 선박을 보유하고 있으며, 평균 톤수는 99,801톤, 재화중량톤수는 107,240톤, 평균 TEU는 9,887TEU이다. 이들 선박의 평균 선령은 10년으로 나타났다. 인트라 선사는 총 238척을 보유하고 있으며, 평균 톤수는 18,492톤, 재화중량톤수는 22,843톤, 평균 TEU는 1,789 TEU이다. 주로 근거리 항로에서 소형 선박을 중심으로 운영되고 있으며, 평균 선령은 15년으로, 높은 선령으로 인해 교체 수요가 더 빠르게 증가할 가능성이 있다.

탈탄소 규제에 따라 컨테이너 선박의 교체 수요는 크게 두 가지 방법으로 전망할 수 있다. 첫째, 첫 번째는 탄소집약도 지표(CII)를 기준으로 선박의 운항 효율을 평가하여, 규제를 충족하지 못할 경우 선박을 교체해야 한다. 예를 들어, 3년 연속 D등급을 받거나 1년 동안 E등급을 받은 선박은 SEEMP(선박 에너지 효율 관리 계획)에 따라 개선이 요구되며, 기술적 개선이 불가능한 경우 즉시 교체가 필요하게 된다. 둘째, 한계저감비용(MAC)을 통해 탄소 저감 기술의 비용과 효과를 비교하고, 가장 경제적인 방안을 선택하여 교체 수요를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 탈탄소 규제인 탄소 집약도를 이용하는 방식과 한계저감비용을 이용하는 방식을 함께 활용해 국적선사 컨테이너 선대 교체 수요를 전망한다.

시나리오1은 현재의 탄소배출 수준이 유지된다는 가정하에 진행되었다. 탄소 집약도(CII) 규제가 매년 강화됨에 따라, 일정 수준의 효율성을 충족하지 못하는 선박은 운항이 제한될 수밖에 없다. 예를 들어, 3년 연속 D등급을 받거나 1년 동안 E등급을 받은 선박은 개선이 불가능할 경우 즉시 교

---

체가 요구된다고 가정했다. 분석 결과 국적 선사의 선박 60%에 해당하는 105척이 2033년까지 교체될 필요가 있는 것으로 나타났다.

시나리오2는 선박의 운항 속도를 감소하여 탄소배출량을 줄이는 방법이다. 선속을 1% 줄이면 연료 소모량이 약 2.5% 감소하며, 이를 통해 선박의 교체 시기를 2~3년 연기할 수 있다. 이러한 속도 조절로 인해 교체 시기가 지연되며, 2032년에서 2036년 사이에 총 109척의 선박이 교체될 것으로 전망되었다.

시나리오3은 바이오연료(B30)를 도입하여 탄소배출을 감축하는 방안이다. B30은 기존 연료에 30%의 바이오연료를 혼합해 사용하는 방식으로, 이를 통해 실질적으로 감소하는 탄소배출량은 24.3%로 추정된다. 분석 결과, 바이오연료를 사용한 탄소배출 감축에 따라 선박 교체 시기가 약 5~6년 연기되었으며, 이로 인해 선박 교체 수요는 2035년에서 2040년 사이에 집중될 것으로 전망되었다. 바이오연료 도입은 탄소배출 감축과 규제 준수에 필요한 교체 시기를 연기할 수 있는 실질적인 대안으로 평가된다.

결론적으로, 국적 컨테이너 선대는 탄소배출 규제에 대응하기 위해 다양한 방식의 교체 수요가 발생할 것이다. 선속 감소나 바이오연료와 같은 대안들은 교체 시기를 연기할 수 있지만, 규제를 준수하기 위해서는 궁극적으로 선박 교체가 필수적이다. 특히 바이오연료의 경우 높은 연료 비용과 공급망 문제를 해결해야 하는 현실적 제약이 존재한다는 점에서, 교체 전략을 수립할 때 추가적인 고려가 필요하다. 따라서 이러한 교체는 장기적인 계획 수립과 신기술 도입을 통해 각 시나리오별 교체 수요에 대응하는 전략적 준비가 필요하다.

# 05

## 결론

### 제1절 결론

---

#### 1. 연구 결과

이번 연구에서는 IMO, EU 등 탈탄소 규제의 동향을 살펴보고 이에 대응하기 위한 컨테이너 교체 수요를 추정했다. 글로벌 컨테이너 교체 수요 추정을 위해서 컨테이너 물동량과 이를 기반으로 컨테이너 선대를 추정해 향후 발생가능한 연료소모량을 전망했다. 이때 컨테이너선DB 자료를 활용해 연료소모량 추정식을 도출해 선속, 선박크기, 선령 등의 영향을 살펴보았다.

컨테이너 물동량은 2050년 기준 약 3.3억TEU가 발생할 것으로 예상되며 선대는 약 4,157만 TEU까지 증가할 것으로 예상된다. 선대 증가에 따라 현재의 상태가 지속될 경우 2050년까지 연료 소모량은 9,026만 톤까지 증가할 것으로 예상된다. 화석연료 소모량을 줄이기 위해서 매년 5%에 가까운 선대가 교체되어야 하며 선속 감소와 효율성 향상 등 기술의 발전이 동반되어야 한다.

---

## 1) 해운분야 온실가스 넷-제로 달성의 어려움

IMO는 해운분야의 온실가스에 대해서 2050년까지 넷 제로(Net-zero)를 달성한다는 목표를 제시했지만 국제에너지기구(IEA), 맥킨지는 2050년에도 여전히 해운에서 화석연료 사용은 불가피할 것으로 예상하고 있다. 가장 큰 이유는 선박의 사용연수가 다른 내연기관인 자동차, 철도 등에 비해 길기 때문이다. 2024년 발주되는 선박의 경우 2026~2027년에 인도받아 2050년에도 운항할 가능성이 높다. 특히 대형선의 경우 친환경 연료를 위한 준비가 이루어지는데 반해 중소형선박의 경우 선박 건조에서부터 급유까지 친환경 연료 전환을 위한 준비가 미흡하기 때문에 중단기적으로 화석연료 기반의 발주가 지속될 가능성이 높다.

## 2) 국적 컨테이너선대의 교체 수요는 2030년 전후에 최대를 기록

이번 연구에서는 CII를 기반으로 국적 컨테이너 선박의 교체 수요를 추정·전망했다. 현재 운영방식이 지속되는 시나리오 외에 선속 감소와 바이오연료 사용에 대한 시나리오를 추가해 선대 교체 수요를 전망했다. 현재 운항방식이 유지되는 경우인 시나리오1의 추정 결과에 따르면 2029~2033년에 선대교체 수요가 집중되었으며 선속 감소시 시나리오1에 비해 2~3년, 바이오연료 사용시 시나리오1에 비해 5~6년 선박 가용연수가 늘어나는 것으로 분석되었다. 동 자료를 통해 국적 컨테이너 선대 교체 수요를 가능해볼 수 있으며 이에 필요한 금융비용 수요를 추정도 가능해 기초연구로서의 의의를 가질 수 있다.

### 3) 컨테이너 선대의 친환경 선박으로 전환은 활발하지만 대형선을 중심으로 이루어져

컨테이너선에 대한 친환경 선박 전환 수요는 코로나 팬데믹 이후 활발하게 진행되고 있다. 선사마다 전략은 상이하지만 LNG, 메탄올 등을 중심으로 진행되고 있으며 자사선뿐만 아니라 장기용선을 통해서도 친환경 선박으로 전환되고 있다. LNG에 대한 연료는 CMA CGM, MSC를 중심으로, 메탄올은 Maersk와 COSCO, Evergreen을 중심으로 발주되고 있다. 드라이벌크, 탱커에 비해서 친환경 연료선에 대한 발주가 지속적으로 이어지고는 있지만 한계 또한 명백하다. 현재 운영 중인 87척의 LNG 추진선 중 3,000 TEU급 미만 선박은 12척에 불과하며 메탄올은 1척에 불과했다. 즉, 중소형 컨테이너선의 친환경 전환은 대형선에 비해 상대적으로 더딘 상황이다.<sup>68)</sup>

### 4) 탄소배출 감축을 위해 전후방산업 모두의 노력 필요

해운에서 탄소배출량 감축을 위해서는 친환경 연료로의 전환이 반드시 수반되어야 한다. 하지만 모든 선박이 일시에 무탄소 선박으로 전환될 수 없기 때문에 해운산업을 비롯해 조선 및 항만과 같은 전방산업에서 공동의 노력이 점진적으로 필요하다. 해운에서는 선속 감소, 디지털 전환을 통한 연료 소비를 줄일 수 있는 최적항로 설계, 항만에서는 육상전원공급장치(AMP), 조선에서는 친환경 연료 추진선 개발 등의 노력이 있어야 한다. 아울러 화주도 탄소배출량을 감축하도록 선사에게 요구해야 하며 이에 따른 비용을 부담하려는 의지도 보여줘야 한다. 이케아, 월마트, 나이키 등 글로벌 화주사들은 탄소배출량 감축을 위한 선사들에게 물량을 배정할 계획을 수립해 실행해 옹기고 있다.

68) Alphaliner(2024), p.42

---

## 2. 연구 기여

### 1) 친환경 선박으로 교체 수요 추정

3장의 연구 결과를 토대로 현재 운영 중인 총 컨테이너 선대의 4.8%가 매년 친환경 선박으로 전환되어야만이 이번 연구에서 목표로 제시한 2050년 화석연료 비중 20%를 달성할 수 있을 것으로 분석되었다. 국제에너지기구에서는 해운산업에서 발생하는 탄소배출량을 매년 6% 감축할 경우 2050년 동 산업에서 발생하는 탄소배출량이 1.2억 톤으로 감소할 것으로 예상했다.<sup>69)</sup> 때문에 2050년 해운산업 넷 제로를 실현하기 위해서는 연간 6% 이상의 선대를 무탄소 연료 추진선으로 교체해야 한다. 현재 컨테이너 선대가 2,997만TEU에 달하기 때문에 매년 180만 TEU 이상의 컨테이너 선에 대한 신조발주와 폐선이 이뤄져야 한다.<sup>70)</sup> 하지만 최근 3년간 폐선비율은 전체 컨테이너 선대의 1%에도 미치지 못하고 있어 향후 급격한 폐선이 발생할 가능성도 있다.

### 2) 탈탄소 대응을 위한 컨테이너선 금융비용 산정

동 연구를 활용할 경우 <표 5-1>과 같이 친환경 선대 교체를 위한 기초 자료로서 금융비용 계산이 가능하다. 2030년 기준 컨테이너선 신조비용으로 약 185억 달러의 자금이 소요될 것으로 예상되며, 이를 선사/주의 자기 자본, 선/후순위로 나눌 경우 금융 기관별로 준비해야 될 예상 비용 산출이 가능하다. 이와 같이 이번 연구에서 산정된 선대교체 수요 자료를 활용해 친환경 선대 시장의 규모의 추정이 가능할 뿐만 아니라 예산 준비금을 개략적으로 산정이 가능하다.

---

69) IEA(2021), p.136

70) Alphaliner(2024c), p.1

〈표 5-1〉 신조 건조 비용 추정(폐선기준)

단위: 백만 달러

구분	3,000TEU 이하	3,000- 7,999TEU	8,000- 15,000TEU	15,000TEU 이상	합계
2030	6,946	4,998	6,555		18,499
2040	5,490	4,998	6,840	5,542	22,871
2050	5,763	4,998	6,983	7,887	25,631

자료: 저자 작성

### 3) 해체시장에 대한 준비 필요

이번 연구 결과 IMO의 규제를 만족시키기 위해서 산술적으로 총 컨테이너 선대의 약 5%가 매년 무탄소 선박으로 교체되어야 한다. 이는 연간 100만TEU에 달하는 폐선이 발생할 수 있다는 의미이다. 하지만 오는 2026년부터는 2009년에 채택된 홍콩협약이 시행되어 승인받은 선박 재활용 시설에서만 해체가 가능하다. 때문에 선박 해체 시기에서도 전략적 계획을 수립하여 진행해야 한다. 대단위 폐선량이 발생할 경우 폐선 가격뿐만 아니라 폐선 시기를 놓칠 수 있는 위험이 존재한다. 특히 국적선사들이 보유한 선박의 해체시기가 2030년 내외에 집중되어 있어 이에 관련해 장기적인 전략 수립이 필요하다.

## 제2절 정책 제언

### 1. 향후 해운시장은 ‘얼마나’보다 ‘어떻게’ 운송하는지가 중요

해운 선사의 영향력을 측정하는 지표로 가장 중요한 요소는 ‘매출액’,



‘회물 운송량’ 등이다. 하지만 탈탄소화를 위한 규제가 강화될수록 상기 요소와 함께 탄소배출량을 얼마나 배출하는지가 선사를 평가하는 요소가 될 가능성이 높다. 이미 25개 화주기업이 참여해 선사들의 탄소배출량을 측정해서 발표하는 CCWG 외에도 아마존(Amazon), 파타고니아(Patagonia) 등이 참여하는 Zemba(Zero Emission Maritime Buyers Alliance)도 설립되는 등 화주들이 적극적으로 선사에게 탈탄소 감축을 요구하고 있다. 특히 EU, 미국 등에서 2024년부터 탄소배출 범위가 Scope3까지 확장됨에 따라 화주들은 탄소배출이 적은 선사를 선호할 것으로 예상되어 탄소배출량 관리가 선사의 경쟁력 평가 요소가 될 수 있다.

〈표 5-2〉 Scope3 공시 의무화 일정

기준	대상	시행시기
EU ESRS	임직원 500인 이상, 상장사/은행/보험사	2024년부터
	종업원 250인 이상, 매출액 4천만 유로 이상, 총자산 2천만 유로 이상 조건 중 2개 이상 충족	20205년부터
	상장중소기업 중 종업원 수 50인 이상, 매출액 8백만 유로 이상, 총자산 4백만 유로 이상 중 2개 이상 조건 충족	2026년부터
	EU 내 종속기업보유&매출액 조건 충족 외국기업 등	2028년부터
미국 SEC	상장 대기업(시가총액 7억 달러 이상)	2024년부터
	상장중견기업(시가총액 0.75~7억 달러&매출액 1억 달러 이상)	2025년부터
	상장 중소기업(시가총액 0.75억 달러 이하, 시가총액 0.75~7억 달러&매출액 1억 달러 이하)	2025년부터
ISSB	국가별 GAAP에 따라 일반 목적 재무제표를 작성하는 모든 기업	2025년부터

주: 1. 회계연도 기준, 각 기준의 현재까지 발표된 자료에 기반하여 작성  
 2. 단, 임직원 750인 미만 기업에 대해서는 1년의 Scope 3 공시 유예기간 부여  
 자료: 법률신문('23.1), "ESG 공시, 쉽게 이해하기", White&Case('22.12), "Corporate Sustainability Reporting: New EU rules for large companies and listed SMEs", IFRS('23.4), "ISSB decides to prioritise climate-related disclosures to support initial application" 등 참고, 김상아(2023), p.2 재인용

## 2. 중소형 선박에 대한 지원 필요

이번 연구에서 분석결과 컨테이너 선의 중소형 선대에 대한 친환경 발주 비중은 대형선에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 컨테이너선 뿐만 아니라 거의 모든 선종에서 나타나는 현상으로 여러 가지 이유가 복합적으로 작용해 나타난 결과이다. 첫째, 조선소 선택에 제약이다. 현재 친환경 연료로 선택받는 경우는 LNG와 메탄올인데 이들 연료를 건조할 수 있는 조선소가 제한적이다. 또한 조선소는 대부분 부가가치가 높은 대형선을 중심으로 수주하는 상황이어서 중소형 선박 발주에 어려움을 겪고 있다.

둘째, 중소형선박을 운영하는 선사의 영세성이다. 대형선사에 비해 금융 조달비용이 높을 수밖에 없는 선사는 친환경 선박 건조 비용을 온전히 부담하기에는 한계가 있다. 정부는 이를 해결하기 위해 글로벌 저탄소전박 정책대응 지원사업의 일환으로 외항선은 선가의 최대 10%, 내항선은 30% 지원할 수 있는 기반을 마련했다. 하지만 예산 부족으로 정부 보조금 정책이 있음에도 불구하고 실제 지원 비중은 선가의 1%에도 미치지 못한다. 더욱이 친환경선박법 제2조 제3호에서 정의하는 선박을 발주해야만 지원을 받을 수 있는데 중소형선박의 경우 건조가 가능한 조선소 부재로 정부지원에서 소외되고 있다. 이외에도 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)에 따라 인증 3등급 이상 선박에 대하여 금리 우대와 한국해양진흥공사의 중소선사 친환경 선박 도입에 따른 LTV 상향, 금리 인하 등의 지원 등이 가능하나 친환경 인증에 어려움을 겪고 있다.

---

### 〈표 5-3〉 친환경 선박의 정의

---

「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(약칭: 친환경선박법)」제2조 제3호에 따른 정의

- 가. 해양오염을 저감하는 기술을 적용하거나 선박에너지효율을 높이는 기술을 사용하여 설계된 선박으로서 공동부령으로 정하는 기준에 적합한 선박
  - 나. 액화천연가스(LNG) 등의 환경친화적인 에너지를 동력원으로 사용하는 선박
  - 다. 전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원(動力源)으로 사용하는 전기추진선박
  - 라. 휘발유·경유·액화석유가스·천연가스 또는 공동부령으로 정하는 연료와 전기에너지(전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지 포함)를 조합하여 동력원으로 사용하는 하이브리드선박
  - 마. 수소 등을 사용하여 발생시킨 전기에너지를 동력원으로 사용하는 연료전지 추진선박
- 

자료: 국가법령정보센터(2024)

### 3. 친환경 선박 기준의 변경 필요성

현재 친환경 선박은 「환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙(해양수산부령 제382호)」제3조에 따라 친환경 에너지를 사용하는 선박으로 한정하고 있다. 하지만 조선소, 친환경 연료 선택, 선가 등의 문제로 모든 선사가 친환경 에너지를 사용하는 선박을 발주하기는 사실상 불가능하다.

---

### 〈표 5-4〉 친환경 에너지 정의

---

「환경친화적 선박의 기준 및 인증에 관한 규칙(해양수산부령 제382호)」제3조에 따른 환경친화적인 에너지 정의

- 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG), 메탄올, 수소, 암모니아
  - 그 밖에 산업통상자원부장관 및 해양수산부장관이 깨끗한 해양환경조성을 위해 필요하다고 인정하는 에너지
- 

자료: 국가법령정보센터(2024)

이렇듯 친환경 선박의 정의가 매우 제한적으로 적용되기 때문에 일부 대형선사를 제외한 대부분의 국적선사들은 친환경 선박 인증에 어려움을 겪고 있다. 이에 정부에서는 이를 개선하기 위해 「환경친화적 선박의 기준 및

인증에 관한 규칙」 제6조 제1항에 따라 선박뿐만 아니라, “환경친화적 기자재를 제작하거나 수입하는 자”가 환경친화적 기자재의 인증을 신청할 수 있도록 제도를 확대하는 개선안을 수립하고 있다. 하지만 이들 인증 대상 기자재를 6개 품목(①고효율 발전용 4행정 내연기관, ②보일러, ③폐열회수장치, ④CO<sub>2</sub> 포집시스템, ⑤인버터, ⑥전동기)으로 제한하였다. 또한 친환경 선박 인증기준에서 친환경 연료 사용 비중 항목의 점수배점이 50%로 되어 있어 친환경 연료를 제외한 친환경 설비로 높은 등급을 받기에는 한계가 있다. 추가적으로 친환경 인증을 받은 기자재 비중이 일정 비중 이상이면 5~10점의 가점을 부여해 보완하고 있지만 친환경 설비로 인한 효율 개선 비중 등을 통해 친환경 설비를 인증하는 방식도 고려할 수 있다.

#### 4. 친환경 연료/선박에 대한 보다 적극적인 준비 필요

친환경 연료 선박 발주 증가로 관련 선박 연료에 대한 시장이 증가할 것으로 예상된다. 특히 울산항을 ‘친환경 선박 연료 공급항만’으로 지정해 부산항 기항 선박들에 친환경 연료를 공급할 계획이다. 이를 위해 전국 주요 항만에 메탄올, 암모니아 LNG 병커링 시설을 확보하고 관련 규제를 완화하거나 폐지했다. 특히 Ship-to-ship 병커링 안전관리계획을 허가제에서 신고제로 바꿨으며, 육상(TTS, Trucks to Ship)에서 급유하는 영업구역 제한을 폐지하는 등 친환경 연료 병커링 사업 활성화를 위해 노력하고 있다. 정부에서는 항만을 중심으로 병커링 사업을 육성하는 정책들이 나오고 있는데 반해 국내 민간부문에서는 적극적인 움직임은 나타나고 있지 않다.

〈그림 5-1〉 친환경 연료 bunker 권역별 인프라 조성



자료: 해양수산부(2023), p.8.

컨테이너 선사 중에서는 머스크 등 일부 선사만이 메탄올, LNG 연료에 대한 공급 방안을 마련하고 있을 뿐 대부분의 선사들은 친환경 연료 수급에 대해 적극적이지 않다. 아직 암모니아 연료 엔진에 대한 개발이 진행 중이며 IMO의 규제에 대한 페널티 또한 확정되지 않아 대부분의 선사들이 친환경 연료를 선택할 가능성이 낮을 수도 있다. 그럼에도 불구하고 이미 화주들은 과학기반목표(Science-Based targets)를 도입해 2021년부터 본격적으로 탈탄소 운동에 동참하여 중장기 목표와 전략을 수립하기 시작했다. Amazon, IKEA 등 9개 글로벌 기업들은 화주가 주도하는 탈탄소 플랫폼인 'Cargo Owners for Zero Emission Vessels'에 가입 2040년까지 컨테이너 운송의 'zero-carbon fuel' 구매를 약속, 선사들의 친환경 연료로의 전환과 업계의 탈탄소화를 촉구하고 있다. 따라서 국적 선사들은 영업력 강화, 기업 이미지 재고 등을 위해 최대한 적극적으로 친환경 전환에 나설 필요가 있다.

## 5. 온실가스 모니터링 및 시뮬레이션 시스템 구축 필요

2024년 1월 1일부터 운영 중인 EU의 ETS 할증료를 보면 동일구간에 선사별로 100% 이상 차이가 존재했다. 선박과 선령이 차이가 나기 때문에 화주들은 할증요율 부과 방식에 의문을 제기할 수 있다. 선사들은 화주들에게 신뢰할 수 있는 정보를 제공하고 이를 근거로 요율이 부과되었음을 화주들에게 안내해야 선-화주 간의 신뢰를 쌓을 수 있다. 때문에 선사는 선박에서 배출되는 온실가스를 모니터링하는 시스템을 보유하고 이에 대한 자료를 ESG 또는 지속가능보고서를 통해 제시해야 한다. 장기적으로 친환경 선대와 병커링 구축을 위해서는 선사의 천문학적 비용이 불가피하고, 이는 일정 부분 화주에게 전가될 수밖에 없는 상황이므로 상호간의 신뢰가 더욱 중요할 것으로 예상된다.

〈표 5-5〉 주요 선사의 ETS 할증료

Services	Dry			Reefer		
	CMA CGM	Maersk	Hapag Lloyd	CMA CGM	Maersk	Hapag Lloyd
아시아-유럽	25	35	12	40	52.5	31
아시아-지중해	20	10	7	30	15	16
유럽-북미	43	40.5	9	65	61	16
유럽-남아프리카/ 서아프리카	43	41.5	12	60	62.5	21
유럽-지중해	25	20.5	-	35	31	-
인트라 유럽	37	11	-	48	16.5	-

자료: apply, (검색일: 2024.5.17.)

글로벌 컨테이너 선사들은 온실가스 모니터링 뿐만 아니라 이를 통해 향후 배출량까지 전망하는 시스템을 보유 및 운영하고 있다. 반면 중소형 선사는 관련 시스템을 구축하기 어려울 수 있으므로 이를 지원하는 프로그램

---

을 도입하는 것도 가능하다. 2024년부터 한국해양진흥공사는 국적 선사들에게 해양산업 디지털 전환을 위한 협의를 진행하고 있어 동 프로그램을 활용해 글로벌 선사들이 가지고 있는 노하우를 이전하는 방안을 검토할 수 있다.

## 6. 비용을 고려한 연구 필요

선사와 화주 모두 전방위적으로 실시하는 온실가스 배출 규제에 대한 준비가 필요하다. 이번 연구에서는 국적선사에 대한 교체 수요를 보다 정확한 기준에서 추정·전망하기 위해 CII를 이용했다. 하지만 선사와 화주가 향후 해운산업에서 넷-제로를 달성하기 위해 가늠할 수 있는 비용을 추정하는 연구가 이뤄져야 한다.

## 참고문헌

### 국내 문헌

---

- 권철민(2020), 「파이썬 머신러닝 완벽 가이드」, 위키북스, pp. 1-644.
- 김상아(2023), Scope 3 온실가스 배출량 공시 의무화 동향, KDB 산업은행 pp.1-3
- 김영선(2024), 해운선사 녹색해운항로 구축전략, Mac-net 세미나 발표자료, pp.1-27.
- 김진형, 김진희, 이정엽(2018). IMO 선박 온실가스 감축을 위한 초기 전략. Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, 55(2), pp. 24-27.
- 류영수(2024), 「국제해운환경규제동향 및 대응방안」, KMI 세미나 발표자료, pp. 1-63
- 심소연(2022), 유럽연합(EU) 기후변화대응에 관한 입법례, 국회도서관
- 전미연(2019), 「기계 학습 기법을 활용한 선박 연료소모량 예측 모델 개발」, 부산대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 1-64.
- 최건우 외(2021), 「선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구」, 한국해양수산개발원, pp. 1-114.
- 한국해운협회(2024), 「2023 해사통계집」, pp. 1-73.
- 해양수산부(2023), 친환경선박연료 공급망 구축방안, 보도자료, pp. 1-13.
- Cameron, A. C. & P. K. Trivedi(2010), 「Stata를 활용한 미시계량경제학」, 강창희, 박상근 역(2017), 지필미디어, pp. 1-917.
- KR TECHNICAL INFORMATION(2024.2.1.), 해운분야 EU ETS 도입에 따른 초기 이행 지침, 한국선급



---

## 국외 문헌

---

- Ahn, J., Seong, S., Lee, J., & Yun, Y. (2023). Energy efficiency and decarbonization for container fleet in international shipping based on IMO regulatory frame works: A case study for South Korea. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 7(2-3), 2247832.
- Alphaliner(2023), monthly monitor, no.9, pp.1-42.
- \_\_\_\_\_ (2024a), weekly newsletter, no.8, pp.1-23.
- \_\_\_\_\_ (2024b), weekly newsletter, no.42, pp.1-31.
- \_\_\_\_\_ (2024c), Monthly monitor, August, pp.1-46.
- Anish Wankhede(2023), 『INTRODUCTION TO THE LATEST MARPOL 2023 REGULATION EEXI, CII & SEEMP III 2023』, *Marine Insight*, pp. 1-33
- Cameron, A. C. & P. K. Trivedi(2010), 『Microeconometrics Using Stata』, pp. 1-706.
- Chang, C. C. & C. H. Chang(2013), “Energy conservation for international dry bulk carriers via vessel speed reduction”, *Energy Policy*, 59, pp. 710-715.
- CLASS NK(2024.01.) FAQs on the EU-ETS for Shipping (Edition 2.1)
- Corbett, J. J., & Koehler, H. W. (2003). Updated emissions from ocean shipping. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, p. 108(D20).
- Comer, B. *et al.*(2017), 『Black Carbon Emissions and Fuel Use in Global Shipping 2015』, *International Council on Clean Transportation*, pp. 1-107.
- Commission Implementing Decision (EU) 2024/411
- Crew, J. G.(1986), “South Atlantic Container Fleet Vessel Forecasts”, *TRANSPORTATION RESEARCH FORUM*, XXVII(1), pp. 43-51.
- Czermański, E. *et al.*(2021), “An Energy Consumption Approach to Estimate Air Emission Reductions in Container Shipping”, *Energies* 2021, 14, 278, pp. 1-18.
- De Langen, P. W. (2003). Forecasting container throughput: a method and implications for port planning. *Journal of International Logistics and Trade*, 1(1), pp. 29-39.

- de Oliveira, M. A. N., Szklo, A., & Branco, D. A. C. (2022). Implementation of Maritime Transport Mitigation Measures according to their marginal abatement costs and their mitigation potentials. *Energy Policy*, 160, 112699.
- DNV(2023), 「Maritime forecast to 2050」, pp. 1-71.
- Doukas, H., Spiliotis, E., Jafari, M. A., Giarola, S., & Nikas, A. (2021). Low-cost emissions cuts in container shipping: Thinking inside the box. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 94, p. 102815.
- Ernest Czermański *et al.*(2021), “An Energy Consumption Approach to Estimate Air Emission Reductions in Container Shipping”, *Energies*, 14, 278. pp.1-18
- Fontagne, L. & J. Foure(2013), “Opening a Pandora’s Box: Modelling World Trade Patterns at the 2035 Horizon”, CEPII Working Paper 2013-22, pp. 1-60.
- Gilbert, P.(2014), “From reductionism to systems thinking: How the shipping sector can address sulphur regulation and tackle climate change”, *Marine Policy*, 43, pp. 376-378.
- ICCT(International council on clean transportatin)(2020), “Potential CO<sub>2</sub> reductions under the Energy Efficiency Existing Ship Index”, *WORKING PAPER 2020-27*, pp. 1-18
- Johansson, L., J. P. Jalkanen, & J. Kukkonen(2017), “Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution”, *Atmospheric Environment*, 167, pp. 403-415.
- IEA(2021), 「Net Zero by 2050」, pp. 1-223.
- IEA(2023), 「World Energy Outlook」, pp. 1-355.
- IMO(2014), 「Third IMO GHG Study 2014」, pp. 1-296.
- \_\_\_\_\_(2020), 「Fourth IMO GHG Study 2020」, pp. 1-578.
- Le, L.T. *et al.*(2019), “Voyage-based statistical fuel consumption models of ocean-going container ships in Korea”, *MARITIME POLICY & MANAGEMENT*, pp. 1-28.
- Lindstad, H., B. E. Asbjørnslett, and A. H. Strømman(2011), “Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds”, *Energy Policy*, 39, pp. 3456-3464.

- 
- Lu, B., Ming, X., Lu, H., Chen, D., & Duan, H. (2023). Challenges of decarbonizing global maritime container shipping toward net-zero emissions. *npj Ocean Sustainability*, 2(1), p. 11.
- Luo, M., L. Fan, & L. Liu(2009), "An econometric analysis for container shipping market", *Maritime Policy & Management*, 36(6), pp. 507-523.
- Meng, Q., Y. Du, and Y. Wang(2016), "Shipping log data based container ship fuel efficiency modeling", *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, pp. 207-229.
- Michael Traut, Alice Larkin & Kevin Anderson, Christophe McGlade, Maria Sharmina &Tristan Smith(2018), "CO<sub>2</sub> abatement goals for international shipping", *Climate Policy*, Volume 18, 8, pp. 1066-1075.
- Moreira, L., R. Vettor, and C. Guedes Soares(2021), "Neural Network Approach for Predicting Ship Speed and Fuel Consumption", *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 119, pp. 1-14.
- McKinsey&Company(2023), 「The shipping industry's fuel choices on the path to net zero」, pp.1-12.
- Nanyang Technological University(2021), 「METHANOL AS A MARINE FUEL」, pp. 1-22.
- P.W. de Langen(2003), Forecasting Container Throughput: A Method and Implications for Port Planning, *JOURNAL OF INTERNATIONAL LOGISTICS AND TRADE*, Vol.1(1), pp. 29-39
- REGULATION (EU) 2023/1805 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 September 2023on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC
- Riahi, K. *et al.*(2017), "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview", *Global Environmental Change*, 42, pp. 153-168.
- Sames, P. C., & Köpke, M. (2012). CO<sub>2</sub> emissions of the container world fleet. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, pp. 1-11.
- Schroer, M., Panagakos, G., & Barfod, M. B. (2022). An evidence-based assessment

- of IMO's short-term measures for decarbonizing container shipping. *Journal of Cleaner Production*, 363, p. 132441.
- Teurelinx, D., A. Verbeke, and E. Declercq(1998), 『De economische betekenis van zeehavenprojecten』, VUB Press, pp. 1-285.
- Uyanik, T., Ç. Karatuğ, and Y. Arslanoğlu(2020), "Machine learning approach to ship fuel consumption: A case of container vessel", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84, pp. 1-14.
- Wang, K., Fu, X., & Luo, M. (2015). Modeling the impacts of alternative emission trading schemes on international shipping. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, pp. 35-49.
- Wang, S. *et al.*(2018), "Predicting ship fuel consumption based on LASSO regression", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, pp. 817-824.
- Winebrake, J. J., J. J. Corbett, and P. E. Meyer(2007), "Energy Use and Emissions from Marine Vessels: A Total Fuel Life Cycle Approach", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(1), pp. 102-110.
- 일본 국토교통성(2020), 「국제 해양 배출 제로를 향한 로드맵」, pp. 1~24, 재인용: 한능호 외(2020), 「글로벌 해운의 탈탄소화 전략에 관한 연구」, 『해양비즈니스』, 47, pp. 143-163.

## 인터넷 자료

- 국가법령정보센터 <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2024.8.22.)
- 로이즈리스트(2023)<https://www.lloydslist.com/LL1147539/CMA-CGM-flips-new-build-fuel-pick-from-methanol-to-LNG> (검색일: 2024.6.10.)
- 로이즈리스트(2024.4.16)<https://www.lloydslist.com/LL1148874/Hapag-Lloyd-confirms-first-dual-fuel-methanol-retrofits-for-existing-fleet>(검색일: 2024.5.17.)
- 법률신문(2024.11.20.). <https://www.lawtimes.co.kr/LawFirm-NewsLetter/18440> (검색일: 2024.11.25.)

- 
- 클락슨(2024), <https://sin.clarksons.net/Timeseries> (검색일: 2024.6.10.)(검색일: 2024.9.4.)
- 클락슨 선대(2024), <https://www.clarksons.net/wfr/fleet> (검색일: 2024.7.15.)
- 해양한국(2024), <https://www.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=50867>(검색일: 2024.5.17.)
- 해양한국(2024.5.9), <https://www.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=51119>(검색일: 2024.5.17.)
- 포세이돈 홈페이지 (2024.5.2.) <https://www.poseidonprinciples.org/finance/news/poseidon-principles-association-unites-35-signatories-for-annual-meeting-elects-new-steering-committee-members-and-maps-future-activities/>(검색일: 2024.5.17.)
- Ammonia Energy Association(2020.1.30), <https://www.ammoniaenergy.org/articles/man-ammonia-engine-update/>(검색일: 2024.9.30.)
- bsr 홈페이지, <https://www.bsr.org/> (검색일: 2024.5.30.)
- carbonchain(2024), <https://www.carbonchain.com/blog/the-imo-carbon-intensity-indicator-cii-what-is-it-and-how-to-prepare>(검색일: 2024.7.15.)
- DNV(2021), [https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Containership\\_2050\\_When\\_the\\_box\\_becomes\\_the\\_customer#:~:text=Containerized%20transport%20is%20forecast%20to%20grow%2080%25%20by,in%20terms%20of%20both%20decarbonization%20and%20business%20economics](https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Containership_2050_When_the_box_becomes_the_customer#:~:text=Containerized%20transport%20is%20forecast%20to%20grow%2080%25%20by,in%20terms%20of%20both%20decarbonization%20and%20business%20economics)(검색일: 2024.5.8.)
- EC, FuelEU maritime initiative: Council adopts new law to decarbonise the maritime sector, <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/>(검색일: 2024.6.1.)
- EC, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_4754](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4754)(검색일: 2024.5.1.)
- EC, FAQ – Maritime transport in EU Emissions Trading System (ETS)[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector/faq-maritime-transport-eu-emissions-trading-system-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector/faq-maritime-transport-eu-emissions-trading-system-ets_en)(검색일: 2024.5.15.)

- EP, EU rules for renewable hydrogen Delegated regulations on a methodology for renewable fuels of non-biological origin, [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS\\_BRI\(2023\)747085](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2023)747085)(검색일: 2024.6.1.)
- ETS Extension to maritime, <https://www.emsa.europa.eu/reducing-emissions/extension-ets.html>(검색일: 2024.5.15.)
- EU, Reducing emissions from the shipping sector, [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en)(검색일: 2024.5.1.)
- European Parliament(2019-2024)- Committee on the Environment, Public Health and Food Safety ANNEX V(검색일: 2024.5.15.)
- EPA 홈페이지, <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-3-inventory-guide>(검색일: 2024.10.10.)
- DNV, EU MRV extended to ships from 400 GT - start preparing now <https://www.dnv.com/news/eu-mrv-extended-to-ships-from-400-gt-start-preparing-now/>(검색일: 2024.5.1.)
- fathom World(2022), <https://fathom.world/maersk-buys-upgreen-methanol-production/>(검색일: 2024.5.1.)
- greenium 홈페이지, <https://greenium.kr/tech-industry-ship-korea-green-methanol-efuel-netzero-imo-maersk/>(검색일: 2024.4.28.)
- KR, [https://decarbonization.krs.co.kr/kor/Content/CF\\_View.aspx?MRID=939](https://decarbonization.krs.co.kr/kor/Content/CF_View.aspx?MRID=939)(검색일: 2024.5.15.)
- logupdateafrica 홈페이지, <https://www.logupdateafrica.com/shipping/challenges-to-net-zero-for-container-shipping-lines-1349146?infinite-scroll=1>(검색일: 2024.9.17.)
- MRV Regulation, <https://www.emsa.europa.eu/reducing-emissions/mrv-changes.html>, European Maritime Safety Agency(검색일: 2024.5.1.)
- Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping(2024), <https://www.zerocarbonshipping.com/cost-calculator/?s=0>(검색일: 2024.9.17.)
- Regulation (EC) No 336/2006 of the European Parliament and of the Council(검색일: 2024.5.15.)

---

STATISTA(2023), <https://www.statista.com/statistics/1267327/energy-consumption-maritime-shipping-worldwide-ship-type/>(검색일: 2024.4.25.)

S&P(2024), <https://connect.ihsmarkit.com/>(검색일: 2024.5.25.)

S&P GLOBAL, <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/032323-eu-agrees-on-ghg-rules-for-marine-fuels-tighter-targets-from-2035> S&P global(2023.3.25.), EU agrees on GHG rules for marine fuels; tighter targets from 2035(검색일: 2024.9.25.)

upply(2023.11.3), <https://market-insights.upply.com/en/container-shipping-surcharges-back-in-fashion>(검색일: 2024.5.17.)

WEF(2024.9.11), <https://www.weforum.org/agenda/2015/12/how-advanced-bio-fuels-could-revolutionize-clean-energy/>(검색일: 2024.5.17.)

# 기본연구보고서 발간목록

## Ⅰ 2024년

01	섬·바다·강 연계 관광 네트워크 구축방안 연구	최일선
02	해양 스타트업 실패 자산화 방안 연구	좌미라
03	시민친화적 바닷가 공간 조성에 관한 연구	정지호
04	연안이용 관리 법제 정비방안 연구	최석문
05	특별관리해역 관리제도 재편 방안 연구	최수빈
06	해양관할구역 과세권한의 체계적 배분방안 연구	이혜영
07	어업인의 디지털 전환 수용성 제고방안 연구	오서연
08	수산물 무역(수출입) 단기 전망모형 구축 연구	한기욱
09	어촌소멸에 따른 사회경제적 영향분석과 대응전략 연구	이상규
10	어촌다움에 기반한 어촌공간관리 방안 연구	이승혜
11	파생상품을 이용한 해운선사의 위험관리에 관한 연구 - 운임선도거래(FFA)를 중심으로 -	김한나
12	내항상선 해양사고 경감방안 연구	허성례
13	항만재개발사업 공공성 강화 방안 연구	김세원
14	해외 항만터미널 확보 전략 연구	김근섭
15	항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구	이화섭
16	국내 무역항 거버넌스 체계 개편방안 연구	김근섭
17	선박의 원격운항을 위한 제도 개선방안 연구	박혜리
18	국제물류기업 육성을 위한 법제 개선방안 연구	최나영환
19	글로벌 공급망 리스크 대응 정책효과 분석 모형 개발 연구	강무홍
20	한-북미 무역구조 분석 및 물류공급망 변화 대응방안 연구	이성우



## 2023년

01	자율운항선박 운항을 위한 해상교통관제 대응방안 연구	박상원
02	인공지능(AI)을 활용한 무역규범의 해양수산분야 영향 분석 연구	임병호
03	공급망 안정화를 위한 항만의 대응방안 연구	이나영
04	연안재해 정보 활용 개선 방안 연구	김찬웅
05	항만의 생활물류 기능 활성화 방안 연구	최석우
06	마을어장 이용·관리 개선방안 연구	마창모
07	해양생태계 복원정책 개선방안 연구 - 사회·생태복원 중심으로 -	최석문
08	주민행태기반 해양정책 수용성 제고 설계 방안 연구	이슬기
09	항만연관산업 고도화 방안 연구	김세원
10	탄소배출권 거래제가 해운선사에 미치는 영향 분석 연구	조아현
11	물류 연계 효율화를 위한 스마트항만 구축방안 연구 - 항만물류 데이터 공유 플랫폼을 중심으로 -	서정용
12	어업분야 중대재해처벌법 대응방안 연구	고동훈
13	수산물의 디지털 수출 활성화 방안 연구	이상건
14	항만개발사업의 정책영향평가 연구	이수영
15	해운산업의 미래 변화 예측과 국내 대응 전략 연구	이호춘
16	어선현대화 촉진을 위한 금융제도 개선방안 연구	엄선희
17	연안도시의 쇠퇴와 대응방안 연구	강창우
18	해양범죄 실태 진단을 통한 대응체계 개선방안 연구	민영훈
19	민간기업의 해양환경분야 ESG 활성화 방안 연구	김지윤
20	식량안보를 고려한 수산물 공급관리 방안 연구	허수진
21	지방분권시대의 수산업·어촌분야 대응전략 연구	이호림
22	해운산업 고도화를 위한 선박투자 활성화 방안 연구	김한나
23	글로벌 공급망 리스크 대응 물류망 최적화 방안 연구 : 한국-북미 물류공급망 중심	이성우

# 수시연구보고서 발간목록

## Ⅰ 2024년

01	해양정보산업 진흥을 위한 제도 개선 방안 연구	김찬웅
02	한-아프리카 국제수산협력 체계 개선 연구	이재령
03	해양안보 MDA 체계 협력적 운용 방안 연구	민영훈
04	인천항 자유무역지역의 효과적 운영을 위한 전략 방안	한장협
05	해양문화자원을 활용한 연안도시활력 증진 방안 연구	이슬기
06	부산항 물동량 유치방안 연구	김은우
07	국제사회의 대북제재 동향과 우리의 대응:해양수산분야를 중심으로	채수란
08	국내 연안여객선 관광·이용 활성화 방안 연구	이정아
09	내수면어업 허가·신고 제도 개선방안 연구	최순
10	어업 선진화를 위한 어업관리체계 개편 방안 연구	심성현
11	글로벌 공급망 변동에 따른 해운물류 지원방안	황수진
12	연안 중소선사의 탄소중립 달성을 위한 친환경정책 지원방안	류희영
13	항만기술산업 활성화를 위한 법제도 정비 방안 연구	김보경
14	해양모태펀드 투자활성화 방안 연구	한기원
15	특별관리해역 내 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 강화방안	장원근
16	중대재해처벌법 대응 양식장 안전성 개선 방안 연구	윤미경
17	국가관리연안항 발전전략 수립체계 연구	신정훈
18	글로벌 공급망 대응 해운항만물류 전문인력 양성 발전방안 연구	권보배
19	해양수산 국제개발협력 중장기 전략 연구	전혜은

---

## ■ 2023년

01	양식어업 비과세 합리화 방안 연구	이정필
02	복합해양레저관광도시 개념정립 및 추진방안에 관한 연구	최일선
03	항만기술산업 육성을 위한 법제도 마련 연구	안승현
04	블루푸드테크 전문기관의 도입 필요성에 대한 연구	이동림
05	지방자치단체의 해양관할구역 설정 요인 연구	이혜영
06	양식장 내 어류 복지 기준 마련을 위한 연구	오서연
07	해양플라스틱 재활용산업 공급사슬 기반 조성 연구	이윤정
08	중소·중견 물류기업의 ESG경영 가이드라인 구축 연구	이재호
09	신항만건설사업의 민간투자 확대를 위한 제도개선 연구	김보경
10	해수욕장 이용객 집계·관리체계 개선방안 연구	이정아
11	유엔 플라스틱 협약의 주요쟁점 분석 및 대응방향 연구	박수진
12	어촌 활력 제고를 위한 제도 개선방안 연구	문지원
13	어선의 친환경에너지 전환방안 연구	고동훈

# 일반연구보고서 발간목록

## 2024년

01	한-북극권 청색경제 협력사업 추진 방안	김엄지
02	전환기 글로벌 해양환경규범의 대응력 강화 연구	박수진
03	해양 지속가능성 시범 평가 연구	최희정
04	Scope 3 기준 원양산업 탄소배출추정 및 대응방안 연구 - 원양저연승어업을 중심으로	조현주
05	수산물 공급망 관리 개선 방안 연구(한 태 무역을 중심으로)	한기욱
06	신통상규범 확대에 따른 수산분야 영향 및 대응방안	박혜진
07	탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너 선대 교체 수요 추정연구	최건우
08	연안항개발사업의 경제적 편익에 관한 연구	김성아
09	한국과 미동부 항만 간 녹색해운항로 구축방안 연구	김가현
10	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ) -철광석, 화학공업생산품, 기타광석, 잡화를 중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

## 2023년

01	해양수산업 조기경보지수 개발 - 컨테이너 해운시장을 중심으로	권장한
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구(II) - 우리나라 주요 항만을 중심으로	강무홍
03	우리나라 수산식품 소비 활성화 방안 마련 연구	한기욱
04	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(II) - 유류, 철재, 모래, 목재, 양곡을 중심으로	이화섭
05	대기행렬모형을 활용한 선박대기비용 절감 편익 산정 연구	조아현
06	항만개발사업 정책효과 세부항목별 효과산정 방법 연구	이종필
07	해양 지속가능성 평가체계 구축 연구	최희정
08	국내 해운기업의 ESG 경영 확산 방안 연구	황진희
09	해운 경기순환 분석 및 예측 연구	황수진
10	수산물 공급 안정을 위한 수입수산물 전략품목 관리 방안 연구	박혜진
11	항만산업 여성인력 확대방안 연구	이지원
12	선사공동행위의 규제 및 행동 변화에 따른 영향 분석과 정책방안 연구	류희영



일반연구 2024-07

## 탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너선대 교체 수요 추정 연구

인쇄 2024년 12월 29일

발행 2024년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

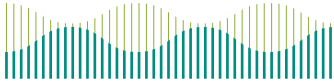
연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 크리커뮤니케이션 (02-2273-1775)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 6,000원



# 탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너선대 교체 수요 추정 연구

A Study on the Estimation of Container Fleet Replacement Demand  
in Respond to Carbon Emissions Regulations



부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

TEL. 051-797-4800 FAX. 051-797-4810



9 791168 66227 8

ISBN 979-11-6866-227-8

93300

값 6,000원