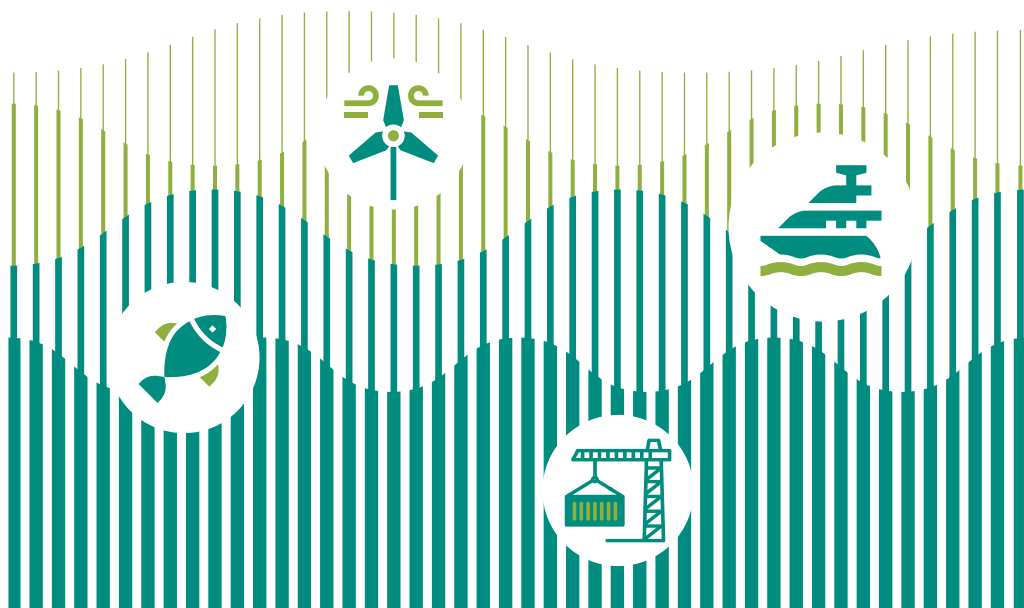


접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석

A Study on Changes in the Carbon Intensity Index (CII)
Resulting from the Reduction of Waiting Times for Port Berths

김보람 · 김지호 · 엄정은 · 정민지 · 김세원 · 이언경



접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석

A Study on Changes in the Carbon Intensity Index (CII)
Resulting from the Reduction of Waiting Times for Port Berths

김보람 · 김지호 · 엄정은 · 정민지 · 김세원 · 이언경



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	김보람, 김지호, 엄정은, 정민지, 김세원, 이언경
내부연구진	연구책임자 김보람 한국해양수산개발원 물류·해사산업연구본부 전문연구원 공동연구원 김지호 한국해양수산개발원 물류·해사산업연구본부 연구원 공동연구원 정민지 한국해양수산개발원 물류·해사산업연구본부 연구원 공동연구원 이언경 한국해양수산개발원 물류·해사산업연구본부 선임연구위원
외부연구진	공동연구원 세종대학교 엄정은 연구원 공동연구원 세종대학교 김세원 교수
연구기간	2024.1.1. ~ 2024.10.31.
보고서 집필내역	
연구책임자	김보람 연구총괄, 제1장, 제2장, 제3장, 제4장, 제5장
내부연구진	김지호 제2장 제1절 일부 및 제2절 일부, 제4장 제1절 일부 정민지 제4장 제1절 일부 이언경 제1장 제1절 일부
외부연구진	엄정은 제4장 제2절 일부 김세원 제1장 제2절 일부, 제4장 제2절 일부
산·학·연·정 연구자문위원	강현주 태평양환경재단 한국지부 국장 황대중 한국해사협력센터 해양환경팀 팀장 한지섭 해양수산부 해사산업기술과 주무관
※ 순서는 산·학·연·정 순임	

발간사

국제해사기구, IMO는 국제해운 배출 온실가스 감축을 위해 다양한 접근방식으로 조치를 개발하고자 노력하고 있습니다. 이전의 규제들이 선박의 사양과 적용 기술을 고려한 기술적 조치에 집중되었다면, 2023년 1월 1일에 발효된 탄소집약도지수(CII) 규제는 선박의 용적뿐만 아니라 연간 항해거리, 선박에서 사용한 연료유 종류별 사용량을 고려하여 등급을 책정하는 운항적 조치(operational measure)입니다. 이러한 CII는 선박의 연간 운항 결과에 따라 변동성이 크다는 특징이 있어 규제 준수를 위한 선사들의 노력이 각별히 요구됩니다. IMO 회원국들은 1년간 CII 규제의 이행 경험을 바탕으로 항만의 체선, 수리 등 항만 내부적인 상황으로 인한 선박의 장시간 대기시간이 CII 등급에 미치는 영향을 논의하고 있습니다. 구체적으로 말해서 선박이 접안을 위해 대기하는 시간이 길어질수록 연간 항해거리는 감소하며, 대기시간 동안 선내 시스템 유지를 위한 기본적인 전력 생산으로 발전기의 연료 소모량이 발생하므로 CII 등급을 낮추는 결과를 초래하는 것입니다.

화주, 선주, 용선주, 항만청 등 해사산업 이해관계자 의견 중심으로 선박의 CII 개선 측면에서 접안 대기시간 감소의 필요성에 대해 정성적으로는 평가되었습니다. 그러나 대기시간 감소 시 CO₂ 배출량과 CII 등급 개선에 대한 정량적 평가는 이루어지지 못하였습니다. 연구진들은 이 부분에 초점을 맞추어 선박의 대기시간 발생 현황을 파악하고 대기시간 감소 비율에 따른 CII 개선효과를 정량적으로 파악하기 위해 본 연구를 착수하였습니다. 연구진들은 향후 연속 D등급 3번 또는 단일 E 등급으로 전망되는 국적선대 컨테이너선 31척을 대상으로 연간 선박위치정보(AIS) 데이터를 모두 분석하여 대기시간을 추출하였습니다. 해당 선박들의 연간 평균 대기시간은 약 31일로 확인되었으나, 항로가 짧고 입출항이 잦은 소형선박의 경우 연간 최대 64일까지도 소요됨을 확인하였습니다. 또한, 선박별 대기시간을 30%, 50%, 70%, 100% 감축하는 시나리오를 바탕으로 최적선속을 도출하고 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 달성값, CII 등급 개선효과를 분석하였습니다. 그 결과 대기시간 30% 감소 시 CO₂ 배출량 평균 7.7% 감소, CII 달성값 평균 8.5% 감소, CII 등급 1~2단계가 향상될 수 있으며, 대기시간 50% 감소 시 CO₂ 배출량 평균 12.2% 감소, CII 달성값 평균 13.5 감소, CII 등급 2~3단계가 향상될 수 있음을 확인하였습니다.

더불어 연구진은 분석 결과를 바탕으로 IMO 제82차 해양환경보호위원회(MEPC)에 우리나라 의제문서(MEPC 82/INF.26)를 개발하고 등재하기 위해 노력하였습니다. 이로써 본 연구가 우리나라 정부출연연구기관 KMI의 일반연구 보고서일 뿐만 아니라 우리나라 입장을 대표하는 외교문서로 개발되고 대내외 이해관계자들에게 좋은 참고 문헌이자 자료로써 활용될 수 있음에 대단히 뜻깊게 생각합니다.

IMO는 2023년 CII를 발효하고 이행 결과를 바탕으로 향후 2026년 1월 1일까지 개선점을 검토할 계획입니다. 그렇기에 2025년은 CII 개선에 집중하게 될 것입니다. 이러한 상황을 고려해 시의적절한 연구를 주도하고 전문가들과 협업하여 유의미한 결과를 도출해 IMO 문서로 연계한 김보람 전문연구원, 본 연구 마중물 역할의 이연경 선임연구위원, 선박·항만별 대기시간 추출을 위해 로데이터를 축적하고 가공한 김지호 연구원과 정민지 연구원, 항로 모델링을 통해 도전적 연구에 기여한 세종대학교 김세원 교수와 엄정온 연구원, 모든 연구진의 노력에 감사드립니다.

또한, 본 연구를 위해 보배와 같은 조언을 아끼지 않으며 자문위원을 수행한 태평양 환경재단(Pacific Environment) 한국지부의 강현주 국장, 한국해사협력센터 황대중 팀장, 해양수산부 한지섭 주무관에게도 연구진을 대신하여 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 본 연구에서 제시한 향후 과제에 대한 후속작업 진행을 희망하며, 향후로도 해사산업의 변화를 반영하고 IMO 국제활동과 연계한 파급력 있는 연구를 지속적으로 수행할 수 있도록 노력하겠습니다.

2024년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약_i

Executive Summary_xi

01	서론_1	
	제1절 연구의 배경 및 목적	1
	제2절 연구의 방법 및 한계점	9
	1. 연구의 방법	9
	2. 연구의 한계점	13
	제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토	16
	1. CII 규제 관련 선행연구	16
	2. 적시성(JIT) 관련 선행연구	19
	3. 본 연구의 차별성	20
02	IMO와 우리나라의 온실가스 감축 정책_23	
	제1절 IMO의 국제해운 배출 온실가스 감축 정책	23
	1. IMO 선박 배출 온실가스 감축전략	23
	2. 국제해운 배출 온실가스 감축 조치	26
	제2절 우리나라의 국제해운 배출 온실가스 감축 정책	29
	1. 친환경 선박법 및 친환경 선박 기본계획	29
	2. 국제해운 탈탄소화 추진전략 및 관련 지원사업	31
	제3절 소결 및 시사점	35
03	국적선대 탄소집약도지수 등급 전망_37	
	제1절 국적선대 탄소집약도지수(CII) 계산	37
	1. CII 달성값(Attained CII)	37

2. CII 허용값(Required CII)	39
제2절 국적선대 CII 등급기반 연구 대상 추출	41
1. CII 등급 계산	41
2. 국적선대 CII 등급 전망	44
3. 연구 대상 추출	50
제3절 소결 및 시사점	53

04 | 접안 대기시간 감소에 따른 CII 등급 개선효과 _55

제1절 연구 대상의 접안 대기시간 분석	56
1. 부산신항 최초 접안 예정시간 및 실제 접안시간 비교	56
2. 연간 접안 대기시간 도출	63
제2절 대기시간 감소 시나리오별 선박 CII 등급 개선효과	70
1. 시나리오별 선박 최적선속 도출	70
2. 최적선속에 따른 연료소모량 및 CO ₂ 배출량 계산	78
3. 연구 대상의 CII 등급 개선효과	87
제3절 소결 및 시사점	91

05 | 결론 및 향후 과제 _93

제1절 결론	93
제2절 향후 과제	96

참고문헌 _101

부록 _113

표 목차

〈표 1-1〉 IMO 및 EU의 온실가스 규제 비교	6
〈표 1-2〉 CII 컨설팅('23) 결과 운항 측면의 저등급 주요 요인	8
〈표 1-3〉 데이터 기준별 특징 및 한계점 비교	15
〈표 1-4〉 선행연구와 본 연구의 차별성	22
〈표 2-1〉 초기전략과 개정된 전략의 감축목표 비교	25
〈표 3-1〉 연료별 CO ₂ 배출 변환계수	38
〈표 3-2〉 선종 및 선박 크기에 따른 2019년 기준선 결정 인자	40
〈표 3-3〉 2019년 기준선 대비 연간 CII 감축 계수(Z) 및 본 연구에서의 가정	41
〈표 3-4〉 선종 및 선박 크기별 dd백터 수치	43
〈표 3-5〉 연구 대상의 CII 등급 전망('23~'35)	52
〈표 4-1〉 연구 대상 선박들의 부산신항 최초 접안 예정시간(ETB) 및 실제 접안시간(ATB) 간 비교('23.2.29.~6.30.)	59
〈표 4-2〉 알림 유형 정의	64
〈표 4-3〉 운항 상태 구분 기준	65
〈표 4-4〉 연구 대상 선박들의 연간 주요 기항지 및 기항지별 대기시간	67
〈표 4-5〉 최적선속 시나리오 정의	70
〈표 4-6〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 최적선속	72
〈표 4-7〉 선박별 항해 정보	76
〈표 4-8〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 최적선속	77
〈표 4-9〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 연료소모량 추정값	79
〈표 4-10〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 CO ₂ 배출량	81
〈표 4-11〉 연구 대상 선박별 용적 및 주기관 사양	83
〈표 4-12〉 컨테이너 선박의 크기에 따른 연료 소모량	85
〈표 4-13〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 CO ₂ 배출량	86
〈표 4-14〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 CII 등급('25년, '30년, '35년) ..	88
〈표 4-15〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 CII 등급('25년, '30년, '35년) ..	89

그림 목차

〈그림 1-1〉 전 세계 평균 기온 편차(1991~2020년 평균)	2
〈그림 1-2〉 해상무역과 선박 CO ₂ 배출량 변화(1990~2020)	4
〈그림 1-3〉 국적선사 대상 CII 등급 개선 컨설팅 지원사업 신청 가이드	7
〈그림 1-4〉 선박 최적선속을 통한 적시성 확보	9
〈그림 1-5〉 연구 흐름도	12
〈그림 1-6〉 선행연구와 본 연구의 연구범위 비교	21
〈그림 2-1〉 EEDI 및 EEXI 계산식	27
〈그림 2-2〉 EEDI 및 EEXI 특징	27
〈그림 2-3〉 CII의 주요 특징	28
〈그림 2-4〉 친환경 선박 기본계획의 추진 목표	30
〈그림 2-5〉 국제해운 탈탄소화 추진전략	31
〈그림 2-6〉 국제해운 탈탄소화 추진전략의 세부 추진과제	33
〈그림 2-7〉 해운산업 경영안전 및 활력 제고 방안의 투자계획	34
〈그림 3-1〉 CII 등급별 범위	42
〈그림 3-2〉 dd 벡터 및 등급 범위	42
〈그림 3-3〉 국적선(353척) CII 등급 변화 전망('23~'35)	44
〈그림 3-4〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 국적선 선령 비교	46
〈그림 3-5〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 국적선 선종 비교	46
〈그림 3-6〉 BBCHP(397척) CII 등급 변화 전망('23~'35)	48
〈그림 3-7〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 BBCHP 선령 비교	49
〈그림 3-8〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 BBCHP 선종 비교	49
〈그림 3-9〉 연구 대상 추출 과정	50
〈그림 3-10〉 국내 항만별 물동량 비교	51
〈그림 3-11〉 부산신항 컨테이너 처리실적	51
〈그림 4-1〉 AIS 정보 송수신	56
〈그림 4-2〉 선박별 최초 ETB와 ATB 간 평균 시차	58
〈그림 4-3〉 연구 대상 선박의 항로 기준 접안 대기시간 도출 과정	63
〈그림 4-4〉 선박의 운항 주기	66
〈그림 4-5〉 DCS 데이터 요약자료 예시	71
〈그림 4-6〉 운항 상태에 따른 위치 가시화	74

〈그림 5-1〉 기후변화 해결을 위한 IMO 성과 및 향후 계획	96
〈그림 5-2〉 IMO 의제문서 개발 및 제출 과정	98
〈그림 5-3〉 본 연구와 향후 과제의 차이	99

약어 목록

- AIS(자동 선박 식별 장치) : Automatic Identification System
- ATA(실제 내항 진입시간) : Actual Time of Arrival
- ATB(실제 부두 접안시간) : Actual Time of Berthing
- BAU(배출량 전망치) : Business-As-Usual
- BBC(나용선) : Bareboat Charter Agreement
- BBCHP(국적취득조건부 나용선) : Bareboat Charter Hire Purchase
- CBDR-RC(공동의 그러나 차별화된 책임) : Common But Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities
- CII(탄소집약도지수) : Carbon Intensity Indicator
- CY/CFS(항만 컨테이너 야드 화물 장치장) : Container Yard/Container Freight Station
- CO₂(이산화탄소) : Carbon Dioxide
- COP(기후변화 당사국총회) : Conference of the Parties
- DCS(데이터 수집 시스템) : Data Collection System
- DWT(재화중량톤수) : deadweight tonnage
- EEDI(에너지 효율설계지수) : Energy Efficiency Design Index
- EEOI(에너지 효율운항지수) : Energy Efficiency Operational Indicator
- EEXI(현존선에너지 효율지수) : Energy Efficiency Existing Ship Index
- ETA(입항 예정 시간) : Estimated Time Arrival
- ETB(접안 예정 시간) : Estimated Time of Berthing
- ETS(배출권 거래 시스템) : Emission Trading System
- EU(유럽연합) : European Union
- GFS(연료표준제) : Goal-based Fuel Standard
- GHG(온실가스) : Green House Gas
- GT(총톤수) : Gross tonnage
- HFO(중유) : Heavy Fuel Oil

-
- IMO(국제해사기구) : International Maritime Organization
 - ISWG-GHG(선박온실가스 감축 회기간 작업반): Inter-Sessional Working Group on reduction of GHG emissions from ships
 - JIT(적시성) : Just In Time
 - LFO(경질유): Low Fuel Oil
 - LNG(액화천연가스) : Liquefied Natural Gas
 - MARPOL(해상오염방지협약) : International Convention for the Prevention of Pollution
 - MBM(시장기반조치) : Market-based Measures
 - MDO(선박용 디젤유): Marine Diesel Oil
 - MEPC(해양환경보호위원회) : Marine Environment Protection Committee
 - MGO(선박용 경유): Marine Gas Oil
 - NM(해리) : Nautical Miles
 - NMFT(비차별원칙) : No More Favorable Treatment
 - RO-RO(로로): Roll-On/Roll-Off
 - RPM(분당회전수): Revolutions Per Minute
 - SEEMP(선박에너지 효율관리계획서) : Ship Energy Efficiency Management Plan
 - SFOC(연료소모량) : Specific Fuel Oil Consumption
 - SoC(적합확인서) : Statement of Compliance
 - TEU : Twenty foot Equivalent Units
 - UN(국제연합) : United Nations
 - UNCED(유엔환경개발회의) : United Nations Conference on Environment & Development
 - UNFCCC(기후변화협약) : United Nations Framework Convention on Climate Change
 - VLCC(초대형 원유운반선): Very Large Crude-Oil Carrier
 - VTS(해상교통관제시스템) : Vessel Traffic Service System

요 약

접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석

김보람 · 김지호 · 엄정은 · 정민지 · 김세원 · 이언경

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

- IMO 단기조치 CII는 운항 결과에 따라 변동성이 높으며, 항만 체선에 따른 선박의 장기적인 대기시간이 CII 저등급에 영향을 미침
- 단기조치 EEXI와 CII는 모두 에너지 효율 개선을 위한 조치이지만, EEXI는 EEDI와 같이 선박의 용적, 선속, 주기관·보조기관·축발전기/모터의 CO₂ 배출량, 출력제한장치 등 선박의 사양과 기술들을 고려하기에 크게 급변하기는 어려운 반면, CII는 선박의 연간 항해거리와 연료유별 소모량을 고려하여 계산하기 때문에 운항방식을 직접적으로 규제함
- IMO의 CII는 EEDI, EEXI, FuelEU Maritime과 같은 기술적 조치, EU-ETS 방식의 경제적 조치와 다르게 동일 사양의 선박이라도 해상환경과 운항 결과에 따라 CII 달성값은 달라질 수 있기에 변동성이 높음
- 해양수산부의 2022년 ‘국적선사 대상 선박 탄소집약도지수(CII) 등급 개선 컨설팅 지원사업’ 결과, 운항 측면의 저등급 주요 원인은 ① 항만 체선

에 따른 선박의 장기적인 대기, ② CII 보정계수 적용의 어려움, ③ 기술적·정책적 CII 등급 관리 방안 부족, ④ CII 규제 측면의 화주와 소통 및 협력 부족 등이며 항만 체선은 항만 내부환경, 선박, 화주, 기상, 인적요류 등 다양한 변수로 인해 이전부터 발생하고 있는 고질적인 부분임

- 대형선사에 비해 자금력이 부족한 중소형 선사의 입장을 고려해 선속 최적화를 위한 항만 대기시간 감소의 긍정적 효과를 파악해야 함
- CII 규제에 대응하기 위해서는 저탄소 연료를 사용해 화석연료를 사용하는 선박보다 더 높은 등급을 받거나 그 외 외부 저항을 줄이기 위한 선체 청소, 속도 및 경로 최적화, 태양광 및 풍력을 활용한 보조설비 설치 등을 통해 에너지 효율을 개선하는 방안을 고려할 수 있음
- 대형선사와 비교해 자금력이 부족한 중소형 선사는 친환경 선박으로의 대체 건조 또는 친환경 연료 확대 등의 방안을 실천하기 어렵기에 속도 및 경로를 최적화하는 방법을 고려하는 것이 현실적이므로 국적선이 최적 속도로 운항(감속운항)하고, 항만에서의 대기시간을 감소시켜 연간 총 연료소모량 감소 방안 마련이 필요함
- 접안 지연과 대기시간 발생은 선박의 효율적인 운용에 영향을 미칠 뿐만 아니라 불필요한 연료의 소모를 동반하고 CII 규제에 불리하게 작용하므로 대기시간 최소화의 정량적 개선효과를 파악함으로써 선박과 항만 간 협력의 토대가 마련되어야 함

2) 연구의 목적

- 본 연구는 ‘접안 대기시간 감소를 통한 선속 최적화가 CII 등급에 미치는 영향은 무엇인가?’라는 연구 질문을 시작으로 향후 약 10년 뒤인 2035년까지 CII 규제로 인해 가장 영향을 많이 받으리라 예측되는 국적선사 보유 선박을 대상으로 불필요한 접안 대기시간을 감소하여 적시성을 최대한 확보함으로써 CII 등급 개선효과를 확인하는 데 목적을 둠

- 이러한 목적은 국적선대의 CII 규제 준수에 유효한 이행방안으로서 대기 시간 감소를 통한 적시성이 CII에 미치는 변화를 파악하기 위함이며, 선박의 연간 평균적인 대기시간을 파악하고 대기시간 감소율에 따른 CII 변화를 분석함으로써 선박과 항만 간 정보 공유의 중요성과 이해관계자 간 협업의 필요성을 정량적으로 확인할 수 있음

2. 연구의 방법

- 온실가스 감축 정책의 동향을 파악하고 5천 톤 이상의 정기선을 대상으로 '35년까지의 CII 등급을 예측하여 시정조치 필요 선박을 도출함
- 온실가스 감축을 위해 2023년부터 단기조치 CII가 발효된 만큼, 탈탄소화를 위해 IMO와 우리나라가 추진하고 있는 정책들이 어떤 방향성에 집중하고 있는지와 고려되지 않는 점은 무엇인지 살펴봄
- 항차마다 항로가 달라지는 부정기선(Tramper, 일반적으로 벌크선)에 비해 정기선(Liner, 일반적으로 컨테이너선)은 비교적 일정한 항로에 따라 운항하기 때문에 연간 접안 대기시간 파악이 용이하므로 국적선대를 대상으로 2022년 기준 CII 달성값 자료를 기준으로 CII 규제의 가이드라인에 따른 계산식을 적용해 연도별 감축률을 적용한 CII 기준값을 산출하고 CII 달성값과 비교해 2035년까지의 CII 등급을 예측함
- CII 등급 예측을 통해 조치가 필요한 선박(3년 연속 D 등급 또는 단일 연도 E 등급)을 도출하였고, 해당 선박 중 2024년 기준 부산신항에 입항하는 컨테이너선으로 추려내어 연구 대상으로 선정함
- 연간 AIS 데이터를 기반으로 선박의 연간 총 접안 대기시간을 추출하였으며, 대기시간 감소율에 따른 최적선속으로 CII 개선효과를 분석함
- 2023년 연간 AIS 데이터를 기반으로 기항지별 대기시간을 모두 분석해

총 대기시간을 추출하였으며, 이 과정에서 과거 AIS 데이터 분석은 물론 현재 실시간으로 변동되고 있는 컨테이너 항만 터미널의 선석 계획을 조사·분석하여 실제 접안시간과 계획 간 차이를 확인함

- 대기시간은 항해시간에 반영하여 최적선속을 계산하였으며, 최적선속에 따른 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 달성값을 재계산하여 개선된 CII 등급과 정량적 효과를 검증함

3. 연구 결과

1) IMO와 우리나라의 국제해운 온실가스 감축 정책 검토

- IMO는 '50년 넷제로를 달성하기 위해 단기조치(EEXI 및 CII) 개선과 더불어 중장기적인 조치 개발에 박차를 가함
- 초기전략은 국제해운의 연간 온실가스 총 배출량을 2008년 대비 2050년까지 최소 50% 감축을 목표로 설정하였던 반면, 2023 IMO GHG 감축전략은 2050년경 국제해운 온실가스 배출량 넷제로 달성으로 설정함
- 단기조치 EEXI 및 CII는 2026년 1월 1일까지 3년 동안 이행 결과를 바탕으로 개선될 예정이며, 현재 기술적 조치와 경제적 조치를 결합한 중기결합조치(Basket of Mid-term measures) 채택을 논의 중임
- 초기전략은 EEXI 및 CII 외에도 항만 개발, 메탄 및 유기성 화합물 배출 해결방안, 시장기반조치 등 다양한 후보조치를 포함하며, 향후 IMO는 중장기 조치의 추가 개발과 목표를 더욱 강화할 것으로 예상됨
- 우리나라의 친환경 선박법 및 기본계획과 국제해운 탈탄소화 추진전략은 친환경 선박 확대와 녹색해운항로 구축에 초점을 맞춤
- 친환경 선박법과 친환경 선박 기본계획은 선주와 연료 생산자에 대한 지원

을 통해 친환경 선박을 개발하고 보급하여 조선해운산업 발전과 청정 해양 환경을 확보하기 위해 고선령 선박의 친환경 선박 대체건조를 고려한 금융 지원 정책 확대 등의 전략을 포함함

- 국제해운 탈탄소화 추진전략은 2050년 국제해운 탄소 감축 100% 저감이라는 진취적인 목표를 설정하고, 미국, 호주, 싱가포르와 무탄소 연료를 사용하는 녹색해운항로 구축에 대한 의지를 국제사회에 공표함
- IMO와 우리나라는 에너지 효율 개선, 친환경, 경제성 등 측면에서 접안 대기시간 감소를 위한 선박-항만 간 협업방안 모색이 부족함
- 국내·외 정책들은 저·무탄소의 신기술 보급 및 확대에 집중하고 있지만, 무탄소 연료 추진선은 기술의 안전성과 충분한 수요 발생까지 상용화에 시간이 소요되므로 에너지 효율 향상 방법들을 보조적으로 병행해야 함
- 선박의 접안 지연은 에너지 효율을 저해하는 요소이며 선박, 항만이 개별적으로 움직여서는 효과가 나타나기 어려우나, 현 정책들은 접안 대기시간 원인 분석 및 선박-항만 간 협업방안 확보에 다소 거리가 있음

2) CII 시정조치 필요 선박들의 접안 대기시간 추출

- 총톤수 5천 톤 이상의 외항선 중 연속 3번의 D등급, 단일연도 E등급이 전망되어 시정조치가 필요하며 부산신항 입출항한 선박으로 추출함
- 국적선 353척 중 D, E등급에 해당하는 선박은 2023년 81척에서 2035년 268척까지 약 3.3배 증가, 2023년 A, B, C등급 선박 272척은 2035년 85척으로 68.75% 감소할 것으로 전망됨
- BBCHP 397척 중 D, E등급에 해당하는 선박은 2023년 115척에서 2035년 356척까지 약 3.09배 증가, 2023년 A, B, C등급에 해당했던 선박 282척은 2035년 41척으로 약 85.46% 감소할 것으로 전망됨
- 전체 국적선대에서 총톤수 5천 톤 이상 외항선의 CII 등급 예측 결과를

바탕으로 2035년까지 약 10년 동안 D등급 연속 3번 또는 E등급 1번으로 시정조치가 요구되는 선박 569척을 분류함

- 정기적인 항로를 따라 항해하는 정기선인 컨테이너선으로써 선종을 고정하고 통항량(입출항), 물동량, 화물 처리량이 많은 부산신항에 2024년 입출항한 선박으로써 총 31척의 연구 대상을 추출함
- 연간 접안 대기시간은 항만별로 평균 15시간~4일 정도 시간이 소요되었으며, 기항지 간 항해거리가 짧고 입출항이 잦을수록 많음
- 연구 대상 선박들의 선종(컨테이너선)이 정기선이기 때문에 특정 기항지에 입항이 반복되는 운항 특성을 보였으며, 선박들은 평균적으로 연간 약 31일 8시간 동안 항만 접안을 위해 대기하는 것으로 확인함
- 항만 내 상황과 체선에 따라 대기시간이 거의 없는 경우도 있지만, 체선 및 체화가 심각해지고 있는 아시아 환적항인 중국 상해항과 말레이시아 포트클랑항의 경우 약 2~4일을 대기함
- 한국과 일본의 항만을 입항하는 선박과 같이 기항지 간 항해거리가 짧고 입출항이 잦은 선박은 연간 최대 64일로 평균 대비 2배의 시간을 대기함

3) 접안 대기시간 감소에 따른 정량적 개선효과

- 대기시간 30%, 50%, 70%, 100% 감소 시나리오를 설정하고 감소한 대기시간을 고려해 최적선속을 도출함
- '22년 DCS 데이터 기반의 항해 거리·시간을 고려해 평균 선속을 구하고, 연간 평균 대기시간을 항해 시간에 포함하여 최적선속을 구함
- 대기시간을 100% 감소한 시나리오에서 최적속도는 기존 대비 평균적으로 11.45% 감소하지만, 해상물류는 다양한 이해관계자가 연계되므로 대기시간 100% 감소는 현실적으로 불가능에 가까움. 보수적으로 대기시간 30%와 50% 감소의 시나리오를 고려하였을 때, 최적선속은 각각 평균

3.95%, 6.37% 감소함

- 단기적으로는 대기시간 30% 감소로도 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 등급 개선에 긍정적이지만, 중장기적으로 50% 이상 감소가 필요함
- 2022년 DCS 데이터 기준 HFO 79.79%, LFO 13.79%, MDO·MGO 6.43%의 비율로 연료를 소모하였으며, 선박별 사양 및 과거 연료소모량에 관한 데이터가 충분하지 않기 때문에 입방 법칙(cubic law)을 적용함
- 기존 대기시간을 30% 감소한 경우 CO₂ 배출량은 평균 7.69%, 50% 감소한 경우 평균 12.18%, 70% 감소한 경우 평균 16.26%, 100% 감소한 경우 평균 21.74% 감소하는 효과를 확인함
- D 또는 E 등급의 선박은 대기시간을 30% 감소함으로써 1~2 등급 상승하는 효과를 확인하였으나, '35년으로 갈수록 등급이 개선된 선박의 수가 적어 최소 50% 이상의 대기시간 감소가 요구됨

4. 정책적 시사점 및 향후 과제

1) 정책적 시사점

- 현재의 국내외 정책이 선령 기준의 친환경 선박 전환과 무탄소 연료에 초점을 맞추고 있으나 운항 에너지 효율성을 고려할 필요가 있음
- 2035년 시정조치계획 수립이 필요한 선박은 국적선 68.8%, BBCHP 82.11%로 BBCHP 선박들의 CII 대응이 더 요구된다는 것을 확인함
- CII 규제에 따라 시정조치가 필요한 선박들의 선령과 선종을 비교하였을 때, 선령과 운항 시 에너지 효율성의 상관관계는 일관되지 않음
- 우리나라가 국제해운 탈탄소화와 녹색해운항로에 초점을 맞추고 있는 만큼 조치를 이행하기 위해 적극적인 방안으로 친환경 선박을 대체 건조할

수도 있겠지만, 친환경 선박이라도 접안 대기시간 감소가 이루어지지 않는다면 경제성이 떨어질 수 있으며 2차적인 문제에 대한 고려가 필요함

- 연구진은 본 연구 결과를 IMO 의제문서로 개발하여 CII 개선을 검토하고 있는 IMO MEPC 의제에 제출하여 등재되었으며, 향후 추가 조치 개발에 정책적 기여가 가능할 것으로 예상됨
- 2023 IMO GHG 감축전략은 2026년 1월 1일까지 CII 이행 현황을 검토하여 개선하는 과정을 포함하였으며, 2025년 봄에 개최되는 제83차 MEPC에서 단기조치 검토에 대한 논의가 이루어질 예정임
- 연구진은 본 연구의 결과를 바탕으로 제82차 MEPC에 우리나라 의제문서(MEPC 82/INF.26)로 제출하였고 IMO 문서 시스템에 등재됨
- IMO 의제문서 제출은 주요 논점 사항에 대해 우리나라의 의견을 반영하고 IMO 성과 도출에 기여하는 효과적인 방법으로서 중요한 의미가 있으며, 본 연구 결과에 대한 IMO 의제문서 개발 및 등재는 단순한 연구결과 도출뿐만 아니라 우리나라의 공식 외교문서로서 중요한 의미를 지님
- 실제로 IMO 초기전략(MEPC.304(72))의 단기 후보조치와 2023 IMO GHG 감축전략(MEPC.377(80))의 중기 후보조치에는 물류체인 및 계획 최적화를 포함한 항만 개발과 선박 배출 온실가스 감축을 위한 활동을 장려하는 조치를 분석하고 고려하는 것이 포함되므로 향후 과제의 추진은 온실가스를 감축하는 새로운 조치 개발에 정책적 기여가 가능할 것임

2) 향후 과제

- 대기시간 감소에 대한 애로사항 식별, 해결방안 확보, IMO 온실가스 감축 후보조치 개발에 관한 향후과제 수행이 필요함
- 초기전략의 단기 후보조치와 2023 IMO GHG 감축전략의 중기 후보조치에는 물류체인 및 계획 최적화를 포함한 항만 개발과 선박 배출 온실가스

감축을 위한 활동을 장려하는 조치를 분석하고 고려하는 것이 포함되므로 선박과 항만을 연계하여 새로운 조치를 개발하는 연구가 필요함

- 선박과 항만 간 도착 정보 공유를 통한 접안 대기시간 감소의 이점은 검증하였지만, 결정적으로 선박과 항만 간 도착 정보 공유 방안에 관해서는 연구되지 못하였으므로 선박-항만 간 정보 공유 현황과 애로사항을 식별하여 활성화 방안을 모색하는 연구가 필요함
- 선박의 접안 대기시간은 항만 체선 또는 선박의 운항 상황에 대한 정보 공유 문제, 기상 악화, 예기치 못한 사고 등 다양한 원인으로 발생할 것으로 미루어 짐작해 볼 수 있지만, 대기시간 발생 원인에 대한 문서화 또는 데이터가 축적되지 않은 상태에서 정량적인 파악이 어려우므로 대기시간 원인에 관한 데이터 수집이 요구됨
- CII 저등급 선박과 선령·선종 간 상관관계에 관한 정량적, 정성적 연구와 선장의 운항 패턴, 해상 기후 등 대기시간 외 CII에 영향을 미칠 수 있는 요소를 식별하여 모니터링 및 빅데이터 축적 방안을 모색하는 기술·정책적 연구가 요구됨

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on Changes in the Carbon Intensity Index (CII) Resulting from the Reduction of Waiting Times for Port Berths

Bo-Ram Kim · Ji-Ho Kim · Jeong-On Eom · Min-Ji Jeong ·
Se-Won Kim · Eon-Kyung Lee

1. Background and Purpose

1) Background

- The IMO's short-term measure, Carbon Intensity Indicator (CII) is subject to significant volatility, largely attributable to its dependence on operational outcomes, with prolonged waiting times caused by port congestion significantly impacting low CII ratings.
- While both EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) and CII aim to improve energy efficiency, their approaches differ significantly. EEXI is more static, considering ship specifications such as volume, speed, main and auxiliary engine, and power

limitation devices. In contrast, CII directly regulates operational conditions by taking into account annual sailing distances and fuel consumption, categorized by type.

- Unlike technical measures such as EEDI (Energy Efficiency Design Index), EEXI, and FuelEU Maritime, or economic measures like EU-ETS, CII ratings for ships with the same specifications can vary significantly depending on operational outcomes and maritime conditions, making CII highly volatile.
- The 2022 consulting project conducted by the Ministry of Oceans and Fisheries on improving CII ratings for Korean shipping companies identified the main operational causes of low ratings as follows: ① prolonged waiting times due to port congestion, ② difficulties in applying CII correction factors, ③ lack of technical and policy measures for managing CII grade, and ④ insufficient communication and cooperation with cargo owners regarding CII regulations, with port congestion being a chronic issue influenced by various factors, including internal port conditions, ships, cargo owners, weather, and human error.
- For small- and medium-sized shipping companies with limited financial resources compared to large companies, the positive effects of reducing port waiting times to optimize ship speeds need to be evaluated.
- Addressing CII regulations may involve the adoption of low-carbon fuels, improvement in energy efficiency through hull cleaning, optimization of speed and route, and the installation of auxiliary systems like solar and wind power.

- However, these measures are challenging for financially constrained small- and medium-sized companies. Practical solutions include optimizing speed and route management. Strategies such as slow steaming and reducing port waiting times are needed to decrease total annual fuel consumption.
- Delayed berthing and prolonged waiting times not only affect operational efficiency but also lead to unnecessary fuel consumption and contribute to unfavorable CII ratings. Quantifying the impact of minimizing waiting times is crucial to establishing collaborative frameworks between ships and ports.

2) Purpose

- This study begins with the research question: "What is the impact of reducing berthing waiting times on optimizing ship speeds and improving CII ratings?" to evaluate how minimizing unnecessary berthing waiting times can enhance Just-In-Time and improve CII ratings for vessels owned by Korean shipping companies that are most likely to be affected by CII regulations by 2035.
- The purpose of this study is to identify changes in CII through reduced waiting times as an effective compliance measure for Korean fleets. By quantitatively analyzing annual average waiting times and the corresponding CII variations based on different rates of waiting time reduction, the research highlights the critical importance of information sharing between ships

and ports, as well as the necessity for collaboration among stakeholders.

2. Methodology

- Analysis of Greenhouse Gas (GHG) Reduction Policies and CII Grade Predictions for Ships Over 5,000 Tons by 2035
 - This examined trends in GHG reduction policies, including the IMO and Korean authorities, identifying their focus areas and any gaps in their decarbonization strategies, particularly following the implementation of the short-term CII measure in 2023.
 - The analysis focuses on liner vessels (typically container ships) rather than trampers (typically bulk carriers) due to their relatively fixed routes, which make it easier to determine annual berthing waiting times. Utilizing 2022 CII performance data for Korean-owned fleets, we applied the CII calculation formulas outlined in regulatory guidelines and projected annual reduction rates to estimate CII reference values for each year through 2035.
 - The forecasted vessels likely to require corrective action are identified based on CII grade projections, specifically targeting ships that may receive three consecutive "D" grades or a single "E" grade. The study sample included container ships schedule to call at Busan New Port in 2024.
- Analysis of Annual Waiting Times and CII Improvements

Based on AIS Data

- This extracted annual total berthing waiting times for vessels using AIS data from 2023, analyzing the waiting times for each port of call. This analysis included a review of historical AIS data and real-time monitoring of container terminal berth schedules to identify discrepancies between planned and actual berthing times.
- Incorporated waiting times into sailing durations to calculate the optimal speed, recalculated fuel consumption, CO₂ emissions, and CII performance values under the optimal speed scenario. Validated the resulting improvements in CII grades and quantified the effects of reducing waiting times.

3. Result

1) Review of IMO and Korea's Greenhouse Gas Reduction Policies in International Shipping

- The IMO is accelerating the development of mid- and long-term measures alongside improving short-term measures (EEXI and CII) to achieve net-zero emissions by 2050.
- The initial strategy set by the IMO aimed to reduce annual greenhouse gas emissions from international shipping by at least 50% by 2050, compared to 2008 levels. However, the 2023 IMO GHG Reduction Strategy has revised this target to achieve

net-zero emissions around 2050.

- Short-term measures, EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) and CII (Carbon Intensity Indicator), are set to be reviewed and refined based on implementation outcomes until January 1, 2026. Ongoing discussions are focused on the adoption of a Basket of Mid-term Measures that integrates both technical and economic actions.
- Beyond EEXI and CII, the IMO's initial strategy includes additional measures such as port development, solutions for methane and volatile organic compound emissions, and market-based mechanisms. It is anticipated that the IMO will further develop and strengthen mid- and long-term measures in the future.
- Korea's Green Ship Act, the Basic Plan for Green Ships, and the International Shipping Decarbonization Strategy focus on expanding eco-friendly ships and establishing green shipping corridors.
- The Green Ship Act and Basic Plan include strategies to support shipowners and fuel producers in developing and deploying eco-friendly ships, enhancing the shipbuilding and shipping industries, and ensuring a clean marine environment. These measures also involve expanding financial support policies for replacing aging ships with eco-friendly alternatives.
- The International Shipping Decarbonization Strategy sets an ambitious goal of achieving a 100% emission from international shipping by 2050. It has also declared its commitment to

establishing green shipping corridors using zero-carbon fuels in cooperation with the United States, Australia, and Singapore.

- Both the IMO and Korea have yet to sufficiently address ship-port collaboration strategies aimed at reducing berthing waiting times, with current policies focusing predominantly on energy efficiency, eco-friendliness, and cost-effectiveness.
- Both IMO and Korean policies prioritize the development and adoption of new low- and zero-carbon technologies, but the commercialization of zero-carbon fuel-powered ships requires time to address safety concerns and generate demand. Therefore, measures to improve energy efficiency must be pursued concurrently.
- Berthing delays significantly undermine energy efficiency, and meaningful progress cannot be achieved if ships and ports operate in isolation. However, current policies fall short of analyzing the causes of berthing delays and securing effective collaboration between ships and ports to address waiting times.

2) Extraction of Berthing Waiting Times for Vessels Requiring CII Corrective Actions

- Among vessels over 5,000 gross tons, ships predicted to receive three consecutive D grades or a single E grade and thereby requiring corrective action, were selected for analysis based on their operations at Busan New Port.

-
- Of the 353 Korean-flagged vessels, those rated D or E grades are projected to increase from 81 ships in 2023 to 268 ships by 2035, representing a 3.3-fold rise. In contrast, vessels rated A, B, or C are expected to decrease from 272 ships in 2023 to 85 ships by 2035, reflecting a decline of 68.75%.
 - Of the 397 BBCHP vessels, the number D or E grade vessels is expected to increase from 115 ships in 2023 to 356 ships by 2035, representing a 3.09-fold rise. In contrast, while A, B, or C grade vessels are projected to decrease from 282 ships in 2023 to just 41 ships by 2035, reflecting an 85.46% decline.
 - Over the next decade (2023–2035), 569 ships requiring corrective action (three consecutive D grades or one E grade) were identified among foreign-going vessels over 5,000 gross tons in the Korean fleet.
 - From these, 31 container ships, which regularly called at Busan New Port in 2024 and were characterized by high traffic and cargo volume, were selected as the study sample.
 - Annual berthing waiting times ranged from an average of 15 hours to 4 days per port, with shorter sailing distances and more frequent port calls resulting in longer waiting times.
 - The study sample vessels (container ships) showed repeated patterns of port calls due to their liner operations, averaging 31 days and 8 hours of annual waiting time for berthing.
 - While some ships had minimal waiting times, major transshipment hubs like Shanghai and Port Klang reported severe congestion, with waiting times extending to 2–4 days.

- Vessels operating between Korean and Japanese ports, characterized by short sailing distances and frequent port calls, had annual waiting times of up to 64 days-double the average.

3) Quantitative Improvement Effects of Reducing Berthing Waiting Times

- Scenarios were established for 30%, 50%, 70%, and 100% reductions in waiting times, and optimal speeds were calculated accordingly.
- Using the 2022 DCS data, average sailing speeds were calculated by incorporating annual waiting times into the sailing times, and optimal speeds were derived for each reduction scenario.
- In the scenario of a 100% reduction, the optimal speed decreased by an average of 11.45%. However, achieving a complete reduction is nearly impossible due to the interconnected nature of maritime logistics. Conservative scenarios of 30% and 50% reductions showed average optimal speed reductions of 3.95% and 6.37%, respectively.
- A 30% reduction in waiting times has shown short-term positive effects on fuel consumption, CO₂ emissions, and CII ratings; however, reduction of 50% or more reductions are necessary to achieve long-term benefits.
- In 2022, fuel consumption consisted of HFO (79.79%), LFO (13.79%), and MDO/MGO (6.43%). Due to limited data on individual ship specifications and historical fuel consumption,

the cubic law was applied.

- A 30% reduction in waiting time led to an average decrease in CO₂ emission of 7.69%. In contrast, the reductions of 50%, 70%, and 100% resulted in emission decrease of 12.18%, 16.26%, and 21.74%, respectively.
- For D or E grade ships, a 30% reduction in waiting time improved CII ratings by 1–2 grades, but as 2035 approaches, fewer vessels show grade improvements, necessitating reductions of at least 50%.

4. Policy Implications and Future Tasks

1) Policy Implications

- Current domestic and international policies focus on replacing older ships with eco-friendly alternatives and adopting zero-carbon fuels, but operational energy efficiency must also be considered.
- Among the ships requiring corrective action by 2035, 68.8% of Korean-flagged vessels and 82.11% of BBCHP vessels will require adjustments, emphasizing the greater need for BBCHP vessels to address CII compliance.
- Analysis of the relationship between ship age and energy efficiency during operations revealed no consistent correlation.
- While eco-friendly ship construction is a proactive measure for achieving Korea's decarbonization and green shipping corridor

goals, even these eco-friendly ships may face economic disadvantages if berthing waiting times are not reduced, highlighting the need to address secondary issues.

- The research findings were submitted as an IMO agenda document to support CII improvement discussions and may contribute to future policy developments.
- The 2023 IMO GHG Reduction Strategy includes a review of CII implementation through January 1, 2026, with discussions on short-term measures are scheduled for MEPC 83 in spring 2025.
- Based on this study, the research team submitted Korea's agenda document (MEPC 82/INF.26) to MEPC 82, and it has been registered in the IMO document system.
- The submission of an IMO agenda document not only reflects Korea's perspectives on key issues but also serves as a significant diplomatic tool, enhancing the country's contributions to IMO outcomes.
- This research aligns with the measures outlined in the IMO Initial Strategy (MEPC.304(72)) and the 2023 IMO GHG Reduction Strategy (MEPC.377(80)), which promote logistics chain optimization and port development to reduce GHG emissions from ships. Future tasks based on these findings could support the development of new measures for GHG reduction, with meaningful policy contributions anticipated.

2) Future Tasks

- Identify obstacles to reducing waiting times, develop solutions, and contribute to the development of IMO greenhouse gas reduction measures.
- Both the IMO Initial Strategy's short-term measures and the 2023 IMO GHG Reduction Strategy's mid-term measures emphasize port development and activities aimed at reducing GHG emissions from ships, including logistics chain and planning optimization. Further research is needed to develop new measures connecting ships and ports.
- Although the benefits of reducing berthing waiting times through shared arrival information between ships and ports have been validated, the mechanisms for effective information sharing remain unexplored. Further research is necessary to identify existing practices, challenges, and strategies for enhancing ship-port information sharing.
- Berthing delays are presumed to result from a range of factors, including port congestion, insufficient information sharing regarding ship operations, adverse weather conditions, and unexpected incidents. However, the lack of documented or accumulated data on the causes of waiting times makes quantification difficult. Therefore, the establishment of a database to systematically document these causes is essential.
- A comprehensive study that combines both quantitative and qualitative method is necessary to investigate the correlations between low CII grades, ship age, and ship type. Furthermore,

research should focus on identifying other influencing factors such as operational patterns, sea conditions, and external variables that impact CII ratings. This should be accompanied by the development of monitoring systems and strategies for big data accumulation.

01

서론

제1절 연구의 배경 및 목적

2023년 여름은 아시아, 유럽, 북·남아메리카, 아프리카 등의 대륙을 불문하고 ‘사상 최악의 가뭄’, ‘사상 최고 기온’, ‘재앙적 홍수’, ‘역사상 가장 오랫동안 영향을 끼친 태풍’과 같은 문구들로 장식되었다. 아프리카 대륙이 배출하는 온실가스는 전 세계 온실가스 배출량의 10%도 되지 않지만, 케냐, 에티오피아, 리비아와 같은 국가들은 2023년 홍수로 이재민과 사망자¹⁾가 속출하였다. 그 외에도 미국 시애틀의 32℃라는 사상 최고 기온 경신, 캐나다의 산불로 인한 비상사태 선포, 방글라데시, 인도, 라오스 등 동남아시아 국가들의 40℃ 이상 폭염 기록, 이탈리아 에밀리아로마냐주 폭우와 홍수로 1만 명 이재민 발생, 우루과이 및 아르헨티나의 가뭄으로 식수난 등 전 세계가 몸살을 앓고 있다.²⁾ 안토니우 구테흐스 유엔 사무총장이 2023년 7월 27일 기자회견에서 ‘이제는 지구가 끓어오르는 시기가 도래’ 하였음을 언급³⁾한 것처럼 지구는 기후변화를 넘어 기후위기이자 기후재난

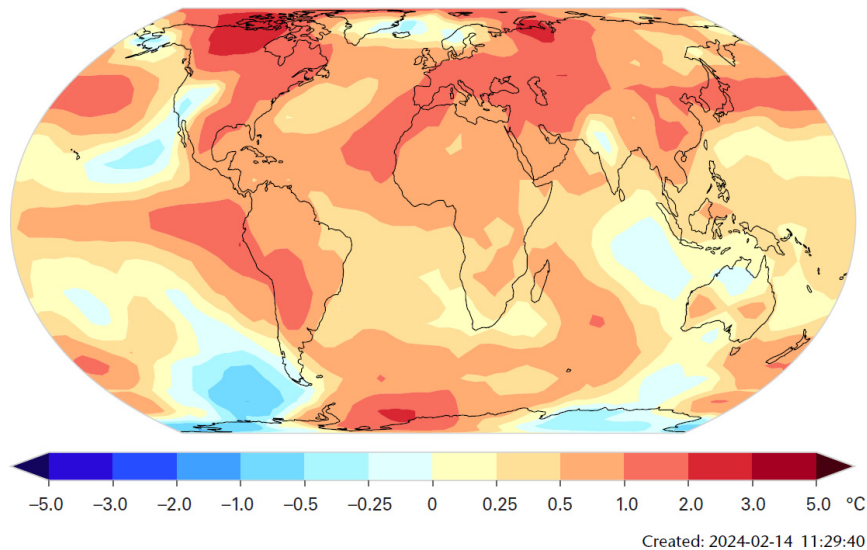
1) 케냐: 10월 우기 이재민 50만 명, 사망자 174명, 에티오피아: 11월 말 60만 명, 리비아: 9월 열대성 폭풍과 홍수로 최소 4만 3천 명 이재민, 4,352명 사망, 8천 명 실종(자료: 대외경제정책연구원)

2) 한겨레신문(2023.5.19.)(검색일: 2024.5.20.)

3) 한겨레신문(2023.8.4.)(검색일: 2024.5.1.)

을 직면하고 있다.

〈그림 1-1〉 전 세계 평균 기온 편차(1991~2020년 평균)



자료: WMO(2024)

국제사회는 산업혁명 이후 지속해서 상승하는 지구의 온도를 낮추기 위해 온실가스 배출량을 감축하려는 노력을 이어오고 있다. 1992년 6월 브라질에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED⁴⁾)는 ‘공동의 그러나 차별화된 책임(CBDR-RC: Common But Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities)’ 원칙으로 선진국과 개도국의 상황에 부합한 온실가스 감축 이행을 약속한 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC)을 채택하였다. 이후 1997년 교토에서 개최된 UNFCCC의 제3차 당사국총회(COP: Conference of the Parties, 이하 COP)는 선진국들의 정량적 온실가스 감축의무를 규정한 교토의정서(Kyoto Protocol)를

4) United Nations Conference on Environment & Development

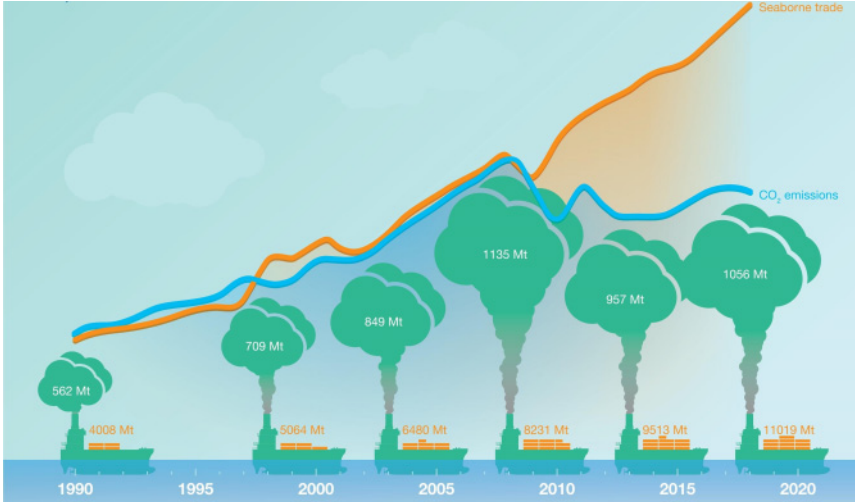
채택하였다. 또한, 2015년 파리에서 개최한 제21차 COP에서 선진국뿐만 아니라 모든 국가가 자국의 상황을 고려해 온실가스 감축에 모든 국가가 참여하는 신기후 체제의 근간이 된 파리협정(Paris Agreement)이 채택되었다. 이 협정은 각 국가가 스스로 결정한 온실가스 감축목표를 5년 단위로 제출하고 이행하면서 노력을 강화할 것을 규정하였다.⁵⁾

국제해사기구(IMO: International Maritime Organization, 이하 IMO)가 2020년 발간한 「제4차 IMO GHG 연구」에 따르면 2018년 기준 해운의 총 CO₂ 배출량은 10억 5,600만 톤으로 전 세계 배출량의 2.89%를 차지한다. 그중 국제해운은 7억 4,000만 톤으로 추정되었다. 또한, 장기 배출전망치(BAU: Business-As-Usual)⁶⁾ 시나리오를 기준으로 2050년에는 2018년 선박 CO₂ 배출량의 90~130%에 도달할 수 있음을 전망하였다. 그에 따라 IMO는 선박 배출 온실가스 감축과 추가적 에너지 효율 강화를 목표로 온실가스 감축 전략 채택, 규제 도입, IMO GHG 연구, 국제협력, 역량개발 활동 등 다양하게 접근하고 있으며, 제72차 해양환경보호위원회(MEPC: Marine Environment Protection Committee, 이하 MEPC)가 구체적인 수치의 의욕 수준과 기간별 조치를 포함한 '2018년 IMO 선박 배출 온실가스 감축 초기전략'(이하 초기전략)을 채택함으로써 IMO 차원의 국제해운 온실가스 감축 노력의 도화선이 되었다.

5) 외교부 홈페이지(검색일: 2024.5.22.)

6) 기후변화 현상과 관련하여 쓰일 경우에는 감축을 위한 특별한 조치를 취하지 않을 때 예상되는 온실가스 배출전망치를 의미하며 기준 시나리오 또는 표준 시나리오라고 불림. 추정 시 경제성장률, 국제유가변동, 인구변동, 에너지 효율 개선 추이 등 온실가스 배출과 관련된 다양한 요소가 고려되며, 온실가스 감축을 위한 각종 정책 및 조치의 효과와 비용 등을 분석하는 데 중요한 기준이 됨(자료: 국토연구원)

〈그림 1-2〉 해상무역과 선박 CO₂ 배출량 변화(1990~2020)



자료: IMO(a), 제4차 IMO GHG 연구 2020

IMO 회원국들은 초기전략을 발판으로 ‘단기적으로 에너지 효율을 향상하기 위한 기술적, 운항적 조치’(이하 단기조치)를 개발하기 시작하였다. 그에 따라 선박의 에너지 효율을 측정하는 현존선 에너지 효율지수(EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index, 이하 EEXI)를 계산하는 기술적 조치와 연간 탄소집약도지수(CII: Carbon Intensity Indicator, 이하 CII) 및 등급 기반의 운항적 조치 채택에 합의하였다. 이후 2022년 11월 1일 해상오염방지협약(MARPOL: International Convention for the Prevention of Pollution, 이하 MARPOL) 부속서 6장은 해당 조치에 관한 내용을 수용해 개정되었다. 이로 인해 전 세계 상선의 96.81%를 차지하는 105개국에 2023년 1월 1일부터 발효된 단기조치 규제 준수에 대한 의무가 부여되었다.⁷⁾

단기조치 EEXI와 CII는 모두 에너지 효율 개선을 위한 조치이다. 하지만

7) IMO(b)(검색일: 2024.4.26.)

EEXI는 EEDI와 같이 선박의 용적, 선속, 주기관·보조기관·축발전기/모터의 CO₂ 배출량, 출력제한장치 등 선박의 사양과 기술들을 고려하기 때문에 크게 급변하기가 어렵다. 반면 CII는 선박의 연간 항해거리와 연료유별 소모량을 고려하여 계산하기 때문에 어떻게 운항하느냐를 직접적으로 규제한다.

한편, IMO의 온실가스 배출 규제에 따라 유럽 등 주요 선진국들은 규제 기준을 충족하기 위한 친환경 선박 기술개발, 대체연료 개발 등으로 대응하고 있다. 특히, 유럽연합(European Union, 이하 EU)은 ‘Fit for 55’ 정책을 통해 지역적 규제를 별도로 추진하고 있다. Fit for 55는 2030년 온실가스 배출량을 1990년 대비 55% 감축, 2050년까지 기후중립 달성이라는 목표 달성을 위한 전략으로써 대표적으로 배출권 거래시스템(Emission Trading System, 이하 EU-ETS)과 FuelEU Maritime이 있다. 2005년부터 도입한 EU-ETS는 산업에서 배출된 온실가스 배출권 거래제이지만 2024년부터는 해운산업에도 적용한다. 총톤수 5,000GT 이상의 EU 항구 출입하는 모든 선박이 해당되며 2025년까지는 CO₂만 포함되지만, 2026년부터는 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)도 포함될 예정이다. 더불어 FuelEU Maritime은 2025년부터 선박에서 소모하는 연료의 생애주기 전반에 걸친 탄소 강도를 규제하는 제도다. 이로써 연료의 생산, 운송, 저장, 연소 과정에서 발생하는 모든 온실가스가 규제되어 2030년부터 컨테이너선과 여객선은 육상전력을 사용해야 한다.

이러한 측면에서 IMO의 CII는 신조선 에너지 효율설계지수(Energy Efficiency Design Index, 이하 EEDI), EEXI, FuelEU Maritime과 같은 기술적 조치, EU-ETS 방식의 경제적 조치와 다르게 동일한 사양의 선박이라도 해상환경과 운항 결과에 따라 CII 달성값은 달라질 수 있기에 규제 준수 여부에 대한 변동성이 커진다.

〈표 1-1〉 IMO 및 EU의 온실가스 규제 비교

항목	규제 기관	IMO			EU	
		EEDI	EEXI	CII	EU-ETS	FuelEU Maritime
시행 시기		2013년	2023년	2023년	2024년	2025년
규제 범위		CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂ (추후 CH ₄ , N ₂ O)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
대상		400 GT 이상 선박	400 GT 이상 선박	5,000 GT 이상 선박	5,000 GT 이상 선박	5,000 GT 이상 선박
규제 내용		신조선 CO ₂ 배출량 저감 (기술적 조치)	현존선 CO ₂ 배출량 저감 (기술적 조치)	운항 에너지 효율 향상 (운항적 조치)	온실가스 배출권 거래 (경제적 조치)	친환경 연료 및 육전 의무화 (기술적 조치)

자료: 저자 작성

각 선사는 보유하고 있는 선박들의 CII를 계산하여 개선 방안을 구상할 수 있는데, 중소형 선사들은 대형선사에 비해 상대적으로 여력이 충분하지 못하다. 이에 따라 해양수산부는 2021년부터 해당 규제의 내용과 발효 시점을 안내하고 국적선 대상 CII 등급을 사전에 제공하였으며 원활한 대응을 위한 전문가 협업을 추진하였다.⁸⁾ 해양수산부가 2020년 국적취득조건부 나용선(BBCHP: Bareboat Charter Hire Purchase, 이하 BBCHP) 포함 국적 선대를 대상으로 조사하여 2020년 운항정보 기반 국적선의 CII를 계산하여 등급을 도출한 결과 34.2%⁹⁾의 선박들이 CII D, E 등급으로서 산업계의 대응 마련이 시급한 상황을 인지하였다. 또한, ‘국적선사 대상 선박 탄소집약도지수(CII) 등급 개선 컨설팅 지원사업¹⁰⁾’을 진행하였다.

8) 해양수산부 보도자료(2021.06.23.), 해양수산부 보도자료(2021.8.24.), 해양수산부 보도자료(2022.10.31.), 해양수산부 보도자료(2024.4.15.)(검색일: 2024.5.20., 2024.5.22.)

9) 해양수산부 보도자료(2021.8.24.)(검색일: 2024.5.15.)

10) 해양수산부가 「선박 온실가스 감축규제 이행 지원」 연구용역을 발주하고 한국해사협력센터와 HD현대 마린솔루션이 공동 주관하여 공동 주관의 국적선사 대상 선박탄소집약도지수(CII) 등급 개선 컨설팅 지원사업 시행

〈그림 1-3〉 국적선사 대상 CII 등급 개선 컨설팅 지원사업 신청 가이드



자료: 한국해사협력센터(2024)

해당 사업은 2022년 매출 기준 상위 10개 국적선사를 대상으로 2025년 이내 CII D, E등급이 예상되는 선박에 대해 제원 및 운항 특성에 맞추어 등급 개선을 위한 운항적, 기술적 조치 방안을 제시하고 있다.¹¹⁾ 2023년 컨설팅 결과¹²⁾에 따르면, 운항 측면의 저등급 주요 원인은 ① 항만 체선(congestion)에 따른 선박의 장기적인 대기, ② CII 보정계수 적용의 어려움, ③ 기술적·정책적 CII 등급 관리 방안 부족, ④ CII 규제 측면의 화주와 소통 및 협력 부족 등이었다.¹³⁾ 여기서 ②, ③, ④는 CII 이행 과정에서 발생하는 애로사항으로 회원국 간 협업을 통해 개선할 수 있지만 ①은 CII와 별개로 항만, 선박, 화주, 기상, 인적오류 등 다양한 변수로 인해 이전부터 발생하는 고질적인 원인이다.

11) 한국해사협력센터(2024.3.4.)(검색일: 2024.5.22.)

12) IMO MEPC 81/INF.22

13) 한국해사협력센터 및 현대글로벌서비스(2023) pp. 33-39.

〈표 1-2〉 CII 컨설팅('23) 결과 운항 측면의 저등급 주요 요인

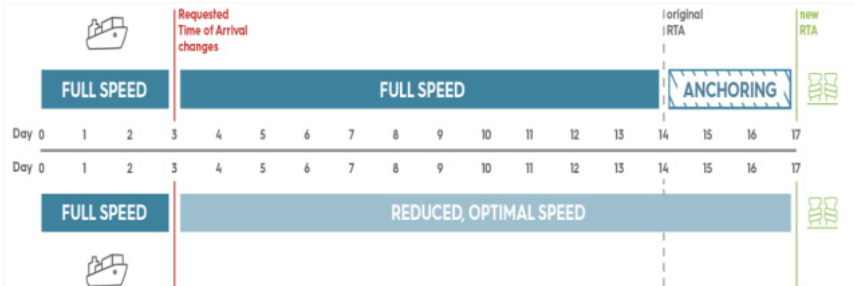
순위	주요 요인
1	항만 체선에 따른 선박의 장기 대기
2	CII 보정계수 적용의 어려움
3	기술적·정책적 CII 등급 관리 방안 부족
4	CII 규제 측면의 화주와 소통 및 협력 부족 등

자료: 한국해사협력센터 및 현대글로벌서비스(2023)를 참고하여 저자 작성

CII 규제에 대응하기 위해서는 저탄소 연료를 사용해, 화석연료를 사용하는 선박보다 더 높은 등급을 받는 방안을 고려할 수 있다. 그 외에도 외부 저항을 줄이기 위한 선체 청소, 속도 및 경로 최적화, 태양광 및 풍력을 활용한 보조설비 설치 등을 통해 에너지 효율을 개선하는 방안도 고려할 수 있다. 그러나 대형선사와 비교해 자금력이 부족한 중소형 선사는 친환경 선박으로의 대체건조 또는 친환경 연료 확대 등의 방안을 실천하기 어려우므로 속도 및 경로를 최적화하는 방법을 고려하는 편이 현실이다. 이를 위해 국적선이 최적속도로 운항(감속운항)하고, 항만에서의 대기시간을 감소시켜 일 년 동안의 총 연료소모량을 줄이는 방안을 마련하는 것이 필요하다.

접안 지연과 대기시간 발생은 선박의 효율적인 운용에 영향을 미칠 뿐만 아니라 불필요한 연료의 소모를 동반하고 CII 규제에서 불리하게 작용하는 결과를 초래한다. 그러므로 대기시간 최소화의 효과를 파악함으로써 선박과 항만 간 협력의 필요성이 여기에 있다.

〈그림 1-4〉 선박 최적선속을 통한 적시성 확보



자료: GreenVoyage 2050

따라서 본 연구는 국제선대의 CII 규제 준수에 유효한 이행방안으로서 대기시간 감소를 통한 적시성(JIT: Just-in-time arrival, 이하 JIT)이 CII에 미치는 변화를 파악하고자 한다. 연간 선박의 평균적인 대기시간을 파악하고 대기시간 감소율에 따른 CII 변화를 분석함으로써 선박과 항만 간 정보 공유의 중요성과 이해관계자 간 협업의 필요성을 정량적으로 확인할 수 있을 것이다.

제2절 연구의 방법 및 한계점

1. 연구의 방법

제1절의 연구 배경 및 목적에 따라 본 연구는 ‘접안 대기시간 감소를 통한 선속 최적화가 CII 등급에 어떻게 영향을 미치는가?’라는 연구 질문(Research Question)에서 시작된다. 이 질문의 핵심은 향후 약 10년 뒤인 2035년까지 CII 규제에 의해 가장 영향을 많이 받으리라 예측되는 국제

선사 보유 선박을 대상으로 접안 대기시간을 감소하여 적시성을 최대한 확보함으로써 온실가스 배출 감축량 및 CII 등급 개선효과를 확인하는 것이다. 이것에 초점을 맞추어 연구는 총 5단계로 구성하였다.

먼저 1단계에서는 국내외적인 배경을 파악하였다. 온실가스 감축을 위해 2023년부터 단기조치 CII가 발효된 만큼, 탈탄소화를 위해 IMO와 우리나라가 추진하고 있는 정책들이 어떤 방향성에 집중하고 있는지와 더불어 고려되지 않는 점은 무엇인지 살펴보았다.

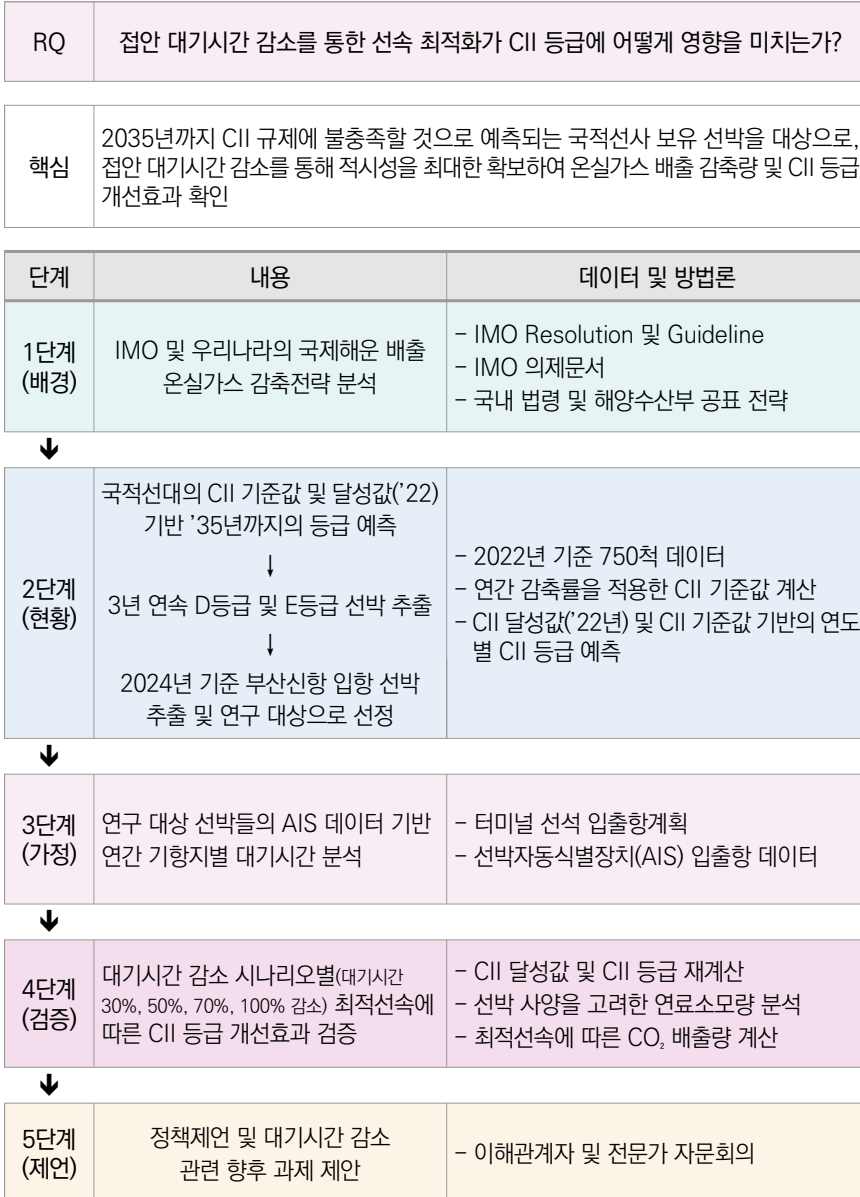
대기시간 감소는 물류체인에 따라 화주(shipper), 선주(shipowner), 선박 운항업자(operator), 용선자(charterer), 항만터미널(port terminal), 해운대리점(shipping agent), 해기사(seafarer)를 포함해 다양한 이해관계자의 노력이 요구된다. 그러한 점을 고려하면 항차마다 항로가 달라지는 부정기선(Tramper, 일반적으로 벌크선)에 비해 정기선(Liner, 일반적으로 컨테이너선)은 비교적 일정한 항로에 따라 운항하기 때문에 연간 접안 대기시간 파악이 용이할 것이다. 그러므로 2단계는 국적선대를 대상으로 2022년 IMO DCS 데이터 기반의 CII 달성값 자료를 기준으로 CII 규제의 가이드라인에 따른 계산식을 적용해 연도별 감축률을 적용한 CII 기준값을 산출하였다. 그리고 CII 달성값과 비교해 2035년까지의 CII 등급을 예측하였고, 그 예측을 통해 조치가 필요한 선박(3년 연속 D 등급 또는 단일 연도 E 등급)을 추출하였다. 또한, 추출된 선박 중 2024년 기준 부산신항에 입항하는 컨테이너선으로 추려내어 연구 대상으로 선정하였다. 다시 말해 연구 대상은 2035년까지의 CII 등급을 전망하여 3년 연속 D등급 또는 단일연도 E등급에 해당하는 국적 컨테이너선으로서 우리나라에서 가장 많은 컨테이너 물동량을 처리하는 부산신항을 입출항하는 31척으로 선정하였다.

3단계는 31척 선박의 2023년 연간 AIS 데이터를 기반으로 기항지별 대

기시간을 모두 분석해 총 대기시간을 조사하였다. 이 과정에서 과거 AIS 데이터 분석은 물론 현재 실시간으로 변동되고 있는 컨테이너 항만 터미널의 선석 계획을 조사·분석하여 실제 접안시간이 최초 계획과 비교해 어느 정도의 차이가 있었는지 확인하였다. 연구 대상의 연간 AIS 데이터를 분석하여 항해시간과 분리하여 기항지 도착 전 정박지(Anchorage) 또는 항계밖(OPL: Outside Port Limit, 이하 OPL)에서 앵카링(anchoring), 표류(drifitng)하는 것을 포함하여 10노트(knot) 이하로 조정(manoeuvring)하며 대기한 시간을 추출하였다. 선박의 항로에 따라 연간 대기시간은 10~60일(평균 30일)로 입출항과 기항지 변동이 잦은 선박일수록 대기시간이 증가할 가능성이 컸다. 또한, 개별 항만의 체선 정도에 따라 몇 시간에서 최대 10일 정도의 시간이 소요될 수 있음을 확인하였다. 도출된 선박별 연간 대기시간은 4단계의 CII 등급 재계산을 위해 장기적으로도 동일하다는 가정을 적용하였다.

4단계는 본 연구의 핵심적인 부분이다. 3단계에서 도출한 대기시간을 시나리오에 따라 항해시간에 반영하여 최적선속을 계산하였으며, 최적선속에 따른 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 달성값을 재계산하여 개선된 온실가스 배출량, CII 등급 등에서 개선된 효과를 정량적으로 검증하였다. 또한, 5단계는 본 연구를 통해 나타난 시사점을 토대로 정책제언하고 선박의 접안 대기시간과 선박-항만 간 정보 공유와 관련한 향후 과제를 제안하였다.

〈그림 1-5〉 연구 흐름도



자료: 저자 작성

2. 연구의 한계점

1) 연구 대상의 선종

본 연구는 2035년까지 약 10년 동안 D등급 연속 3번 또는 단일연도 E 등급으로 전망되는 총톤수 5천 톤 이상의 외항선에 대해 대기시간을 감소 함으로써 CII 변화를 파악하였다. 그러나 이러한 조건에 해당되는 선박이 569척에 대해 평균 연간 4,236건¹⁴⁾의 AIS 데이터를 분석하는 것은 시간 적으로 한계가 있었다. 균형적인 선종을 고려한 추출도 가능하겠지만, 각 선종 내에서 일부 선박을 선정하는 것 역시 추가적인 기준이 요구될 뿐만 아니라 선박별 기항지가 모두 다르기 때문에 항로와 운항 일정이 일정하지 않을 수도 있다. 그러나 정기선¹⁵⁾이라는 기준을 고려하게 되면 정해진 일 정에 따라 특정한 항로를 규칙적으로 운항하는 선박이기 때문에 항만별 평 균 대기시간을 파악하고 대기시간 감소율을 가정하여 효과를 예측해볼 수 있다. 따라서 본 연구는 다소 한정적이지만 정기선인 컨테이너선을 선종으 로 고려하여 국내 최다¹⁶⁾ 컨테이션 물동량을 처리하는 부산신항에 입출항 하는 선박 31척으로 연구 대상을 선정하였다.

2) CII 등급 개선효과 검증을 위한 데이터 기준

본 연구를 착수한 시점에서 2023년 IMO DCS 데이터는 검증 중인 관계 로 이용가능한 IMO DCS 데이터는 2022년에 해당하는 데이터였다. 따라 서 2022년 IMO DCS 데이터와 함께 최신의 데이터를 고려하기 위해 연구 대상의 2023년 AIS 데이터를 모델링하여 선박별 항해거리와 항해시간을

14) 본 연구의 대상 선박들은 연간 3,311건~8,184건의 AIS 데이터, 평균 4,326건의 AIS 데이터를 가진

15) 부정기선은 정기선과 반대로 항로나 항해가 일정하지 않고 자유롭게 계약 가능해 변동성이 높으며, 벌크 선과 유조선의 선종이 많음

16) 해양수산부 보도자료(2024.1.29.)

도출하면서 두 자료를 이용해 대기시간 감소를 통한 CII 등급 개선효과를 비교·분석하였다. 그러나 IMO DCS는 접안 대기시간을 파악할 수가 없고, AIS 데이터는 유종별 연료소모량을 알 수 없다는 한계점이 있다. 따라서 2022년 IMO DCS 데이터 기준의 CII 변화분석은 2023년 대기시간을 활용하였지만, 항해거리, 항해시간, 평균 선속, CII 달성값 등은 모두 2022년 실제 데이터를 활용해 CII 변화를 분석하였다. 한편, 2023 AIS 데이터 기준의 CII 변화분석은 유종별 연료소모량을 알 수 없어 중유(HFO: Heavy Fuel Oil, 이하 HFO)로 유종을 한정하였지만, 2023년 AIS 데이터를 토대로 항해거리, 항해시간, 대기시간, 선속을 도출하여 CII 변화를 분석하였다. 두 자료를 통해 동일한 선박의 2022년과 2023년의 항해거리 및 항해시간이 차이가 있는 상태에서 2023년 AIS 데이터 기준 분석에 2022년 IMO DCS 데이터상의 연료소모량을 적용할 수 없었기 때문에 최단거리 항해 방식의 항로 모델링을 통해 항해거리를 도출하였다. 이 때문에 2023년 AIS 데이터 기준 분석은 실제 데이터와 비교해 거리가 짧고 선속이 느리게 도출되었다(〈표 1-3〉 참조).

3) AIS 데이터 기반 연료소모량 추정

AIS 데이터 기반 연료소모량 추정은 가정과 단순화된 선박 거동 모델링 때문에 실제 연료소모량 데이터와 비교해 오차가 발생할 수 있다. 구체적으로 파도나 조류는 선박의 표류력을 발생시키는데, 흘수, 항로 변화와 파울링 조건 등 환경 요소에 따른 선박 동적 거동을 고려하지 않고 단순화하였기 때문에 높은 연료 소모량이 산출될 수 있다. 또한, 실제 기관실 환경과 다른 기기들의 변화는 주기관의 부하를 변동시키는 요인이 될 수 있는데, 이렇게 예측하기 어려운 실제 조건은 이론 모델과 실제 체계치와의 차이를 유발할 수 있다. 에너지 저감 장치(Energy Saving Device), 연료 종류 및 품질 등에 따라 주기관의 성능과 연료소모량이 달라질 수 있지만

AIS 데이터 기반의 연료소모량 분석은 시간적, 방법론적으로 한계가 있다.

〈표 1-3〉 데이터 기준별 특징 및 한계점 비교

	'22년 IMO DCS 데이터	'23년 AIS 데이터	비고
대기시간(①)	2023년		
항해거리(②)	2022년	2023년	
항해시간(③)	2022년	2023년	
평균선속	2022년	2023년	
최적속도 (②)/(①+③))	대기시간 ≠ 항해거리, 항해시간	대기시간 = 항해거리, 항해시간	
연료 소모량	2022년 유종별 연료소모량	유종은 HFO에 한정하여 최적속 도 기반 주기관(제작사), 보조기 관 및 보일러(4차 연구) 연료소 모량 적용	'23년 DCS 데 이터 미확보 선행연구, 전문가 의견
개선된 CII 등급	2023년 대기시간을 활용했지만, 다른 조건은 2022년 실제 데이터를 활 용해 CII 변화분석	유종을 HFO로 한정하였지만, 다른 조건은 2023년 AIS 데이 터를 활용해 CII 변화분석	항로 모델링이 실제 해상 환경 에 대한 변수 미 반영

자료: 저자 작성

4) CII 가이드라인 G5 미반영

CII의 가이드라인 G5에 따르면 냉동 컨테이너를 운반하는 선박은 전력
과 관련하여 사용 중인 냉동 컨테이너의 연료소모량에 대한 보정계수를 고
려해야 한다. 냉동 컨테이너에 계량기가 있는 선박은 자동 기록된 전력 데
이터(kwh)에 발전기의 평균 연료소모량(g/kwh)을 적용해 계산할 수 있지
만, 계량기가 없는 선박은 해상과 항만에서 냉동 컨테이너를 사용한 일수
가 고려될 수 있다. 그러나 본 연구에서 냉동 컨테이너 전력량 또는 사용
일수에 대한 정보를 확보할 수 없어 가이드라인 G5의 보정계수까지 고려
하여 CII를 전망하는 것에는 한계가 있었다.

제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토

본 연구의 목적에 따라 ‘단기조치’, ‘CII’, ‘선박의 항만 도착 적시성’ 등의 주제어 검색을 통해 최신 문헌을 조사하여 검토하였으며, 본 연구와의 차별성을 확인하였다.

1. CII 규제 관련 선행연구

선박 중심 CII 관련 연구는 특정 선종, 특정 해역 등의 범위를 한정해 향후 CII 등급 변화를 예측해보는 연구와 CII 규제 준수 및 개선방안에 관한 연구가 많이 수행되었다.

CII 등급 변화를 예측하는 연구로서 Taskar, B., Sasmal, K., & Yiew, L. J.(2023)은 선박, 성능, 저항, 항로, 기상 등을 고려해 선속별 항해를 시뮬레이션하여 계절, 선속에 따른 에너지 저감 변화를 도출함으로써 CII 고(高)등급 확보를 위한 저속운항 효과를 연구하였다. Bayraktar, M., & Yuksel, O.(2023)는 벌크선, 가스운반선, 탱커, 일반화물선, 컨테이너선과 같은 5개 선종에 대해 시나리오 분석을 통해 주기관 크기 및 최적선속에 따른 EEXI 및 CII 변화를 분석하였다. Kim, H., Yeo, S., Lee, J., & Lee, W. J.(2023)는 EU-MRV의 선종별 화물운송량 정보를 적용해 CII 등급을 계산하였으며, 2030년까지의 CII 등급 변화를 분석해 재화중량톤수와 실제 화물운송량을 적용한 CII 차이를 비교 분석하였다. Rauca, L., & Batrinca, G.(2023)는 선박 4척의 연간 항로를 분석해 CII를 평가하면서 CII에 영향을 미치는 운항적 요소를 분석하였다. Zhang, C., Lu, T., Wang, Z., & Zeng, X.(2023)은 2400 TEU 컨테이너선 대상 5개의 기계 학습을 적용해 5개 CII 예측모델을 개발하고 누적 탄소배출 강도, 누적거

리, 해수온도, 파도 기간 등과 CII 상관관계를 분석하여 센서 및 기상정보 기반 선박의 CII 예측방안을 제시하였다. Chuah, L. F. et al.(2023)은 19척의 탱커선과 5척의 컨테이너선을 대상으로 운항정보를 분석하여 내항선의 EEXI 및 CII 이행가능성을 검토하였다.

CII 규제 준수 및 개선방안에 관한 연구로서 김동윤·신학승(2023)은 IMO의 환경규제 충족을 위한 지원방안과 해운기업의 대응방안을 분석하며 법제도의 개선방안과 산업계의 조치에 관해 제언하는 연구를 수행하였다. 또한, 남상욱(2021)은 IMO의 감축전략 수립과 EEXI·CII 규제가 폐선 확률에 미치는 영향과 그에 따른 효과를 전망하며 해운 및 조선산업의 EEXI 및 CII에 대한 전략적인 대응방안을 제안하는 연구를 수행하였다. Garbatov, Y., Georgiev, P., & Yalamov, D.(2023)은 저유황 연료유(VLSFO: Very Low Sulfur Fuel Oil) 추진시스템의 LNG 개조에 따른 세금, 보험, 유지 보수, 이자율, 감가상각, 재판매, 기회비용 등의 비용을 분석해 CII 변화를 분석하고 개조에 최적인 선령, 위험성, 해결과제를 도출하였다. Yuan, Q., Wang, S., & Peng, J.(2023)은 선박 및 항로 특성, 운항 제약 등의 요소를 고려한 선박의 일정을 최적화하고 기존 선대의 단기적인 운항효율 최적화 방안을 도출하였다. Prasetyo, D. W., Herawati, S., & Hananto, T.(2023)는 CII 및 선박에너지 효율관리계획서(SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan) 규제에 대한 석유제품운반선의 특징을 바탕으로 실선을 대상으로 CII를 계산하고 최적운항, 기상, 적시성 등의 결합에 따른 2025년 최소한의 저등급 CII를 달성하기 위한 전략을 제안하였다. Chuah, L. F. et al.(2023)는 A* 알고리즘을 활용해 중국-중동 항해 초대형 원유운반선(VLCC: Very Large Crude-Oil Carrier) 선박을 대상으로 풍력보조장치의 CII 개선효과를 분석하였다. Schroer, M., Panagakos, G., & Barfod, M. B.(2022)는 선주의 관점에서 IMO 단기 조치에 따른 기술적, 경제적 영향을 분석하고 6척 컨테이너선을 대상으로

업선별 효과를 분석하여 증장기 조치 채택의 시급성을 강조한 연구이다. Tsai, Y. M., & Lin, C. Y.(2023)는 선박 관련 요소별 상관관계 분석 및 CII 예측 모델을 통해 북동부 항로 개발의 CII 개선효과를 분석하였다. Gallo, M. et al.(2023)은 다양한 선박용 연료별 동력시스템(발전기, 배터리 에너지 저장시스템, 연료전지, 수소 저장시스템)을 분석하여 CO₂ 배출량, 장비 무게 및 부피 등의 성능지표를 기준으로 CII를 평가하여 환경적 성능을 분석하였다. Farkas, A., Degiuli, N., Martić, I., & Mikulić, A.(2023)은 포스트 파나마스(Post Panamax)급 컨테이너선 1척 및 컨테이너선 4척 대상 실제 항해 조건에 따른 저속운항의 장점을 분석하는 연구를 수행하였다. Elkafas, A. G., Rivarolo, M., & Massardo, A. F.(2023)는 2,500~15,000 TEU급 컨테이너선을 대상으로 선속 감소에 따른 환경적, 경제적 변화 분석과 EEXI 및 CII 규제 충족 여부를 분석하였다.

그 외 CII 규제의 직접적인 대상은 아니지만 적용가능성을 분석한 연구도 있었다. 임효근·한기영·이지웅(2023)은 IMO의 국제해운 배출 온실가스 감축을 위한 EEXI 및 CII의 규제대상이 아닌 선종에 규정의 계산식을 적용해 현존선의 추가적인 온실가스 감축방안을 모색하는 연구를 수행하였다. Tran, T. T. et al.(2023)은 극지해역 운항선박의 CII를 평가하여 극지 관련 정보 및 경제적 속도를 적용한 CII 모델링으로 극지 운항선박의 CII 적용가능성을 조사하였다.

더불어 단기조치에 따라 발생할 수 있는 영향을 분석한 연구로서 한국선주상호보험(2022)은 EEXI 및 CII를 둘러싼 용선계약 조항과 분쟁 가능성을 검토하며 분쟁을 해소할 수 있는 해결방안을 제시하였다.

2. 적시성(JIT) 관련 선행연구

선박의 항만 적시성에 관한 연구는 선박의 입항예정시간을 정밀하게 예측하여 JIT 확보방안 연구와 항만 내 화물 운영방식 개선 등과 같이 항만 중심의 개선에 관한 연구가 많았다. JIT 연구로서 김창곤·장성용(2008)은 선박별 접안 우선순위와 선석운영 방식을 검토하여 선석점유율을 비교함으로써 대형선 배선비용 증가에 따른 재항시간 및 선석점유율의 변화를 분석하였다. 조수현 외(2023)는 선박의 이동경로를 예측해 입항예정시간 및 실제입항시간을 예상하여 항만 적시성의 개선방안을 제안하였다. 또한, Senss, A et al.(2023)은 JIT 장애요소 식별과 중장기적인 JIT 메커니즘 효과를 분석함으로써 선도착 선박의 선처리 방식(FCFS)의 선박 도착시스템(VAS)과 JIT 적용을 비교하였다. Yoon, J. H. et al.(2023)는 AIS 정보를 입력해 선박의 최소 실제입항시간에 대한 오류를 선출하는 최적의 매개변수를 결정하고, 터미널운영시스템과 선박 간의 입항시간 정확도를 개선한 알고리즘을 개발함으로써 오차 개선효과를 입증하였다.

그 외 관련 연구로 선원 등 이해관계자 입장에서의 에너지 효율 개선 조치를 제안하는 연구도 있었다. Dewan, M. H., & Godina, R.(2023)는 전 세계 46개 해운 회사의 선원, 선박 관리자 및 운항관리자들의 선박 에너지 효율 개선을 위한 각자의 역할 및 애로사항을 식별하여 운항적 조치에 대한 선원의 역할과 도전과제를 제안하였다. 또한, Dewan, M. H., & Godina, R.(2024)는 10년에 걸쳐 58개의 기사를 분석하고 지식, 인식, 교육, 보상, 사회적 요인, 기술 및 참여 장벽을 포함한 주요 영향 요인을 식별하여 이해관계자 간 협력을 통해 재정적 인센티브와 규제 프레임워크 개발을 강조하였다. Arjona Aroca, J. et al.(2020)는 33척 선박의 AIS 기반 적시 도착이 미치는 영향 분석과 해결을 통한 잠재적 절감을 평가함으로써 이해관계자 협업을 통한 JIT 활성화가 필요한 이유를 분석하였다.

3. 본 연구의 차별성

국내 및 국외 선행연구는 공통적으로 산업계 내 협업방안과 비규제 대상의 변화 필요성을 도모하는 도전적인 연구가 일부 수행되었다. 추가적인 온실가스 배출 감축 달성과 같은 친환경적인 목적에서 해운의 추가적인 달성 가능성을 검토하고 극지해역, 연안선, 어선, 관공선, 실습선 등 규제가 적용되지 않는 선종에 대해서도 규제 적용가능성과 효과를 분석하는 진보된 연구결과를 확인할 수 있었다.

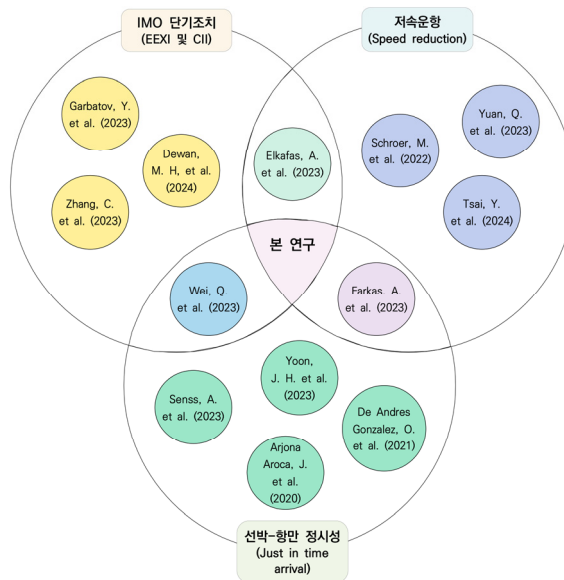
국내 선행연구는 선박과 항만 부문 각각의 최신기술, 역량 개발, 제도 개선에 관한 연구가 중점적으로 이루어졌다. 하지만 CII 관련 연구 자체가 풍부하지는 않았으며 좁은 범위에 한해 수행되었다. 구체적으로 말하자면, 선박과 항만 각각의 주제가 나뉘어 연구되는 양상을 보였는데 선박 중심의 연구는 선박 자체의 규제변화 대응에 초점을 맞추어 기술적 대응과 자체적 역량 확보를 위한 정책적, 제도적 방안 마련 중심의 선행연구가 다수였다. 항만 중심의 연구는 탄소중립 규제 대응과 더불어 항만의 서비스 품질 제고를 위한 적시성 확보 최신기술 개발 등 자체적인 개선방안 위주의 선행연구가 많았다. 연구방법론으로는 협약, 법령, 선행연구 조사 등의 문헌검토 연구가 많았고 일부 회귀분석, 비용모형분석, IMO 규제 계산식 적용 모델링을 활용한 연구가 파악되었다.

국외 선행연구는 EEXI·CII와 적시성에 대한 각각의 주제에 다방면의 선행연구가 많이 수행되었다. 또 해사부문 산업계 내 협업방안을 제안하는 진취적인 연구가 많았다. 선박 중심의 기술적, 정책적 방안에 관해 모색하는 연구뿐만 아니라 선원, 항만 등의 연계방안을 검토하며 물류 전체 흐름에 따른 요소 간 융복합 연구를 수행하였다. 항만 부문의 연구들은 적시성 확보를 위한 선속 최적화와 CO₂ 배출 저감효과에 주목하며 항만뿐만 아니라 선박의 운항 최적화 방안을 모색하기도 하였다.

본 연구는 선행연구와 비교해 CII 규제를 준수해야 하는 총톤수 5천 톤 이상의 국적선대에서 향후 2035년까지의 CII 등급 예측 결과를 바탕으로 CII 규제 대응(연속 D등급 3번 또는 E등급)이 요구되는 선박 중 2024년에 부산신항에 입출항하는 선박을 연구 대상으로서 추출하였다. 이는 CII 규제 대응이 필요한 선박 차원에서의 대응뿐만 아니라 그러한 선박들의 항만 접안 대기시간을 최대한 감소시킬 수 있도록 항만 차원에서의 방안을 모색하는 차원의 연구다. 하여 우리나라에서 물동량과 입출항이 가장 많은 부산신항을 적용하였다.

기존 선행연구들은 IMO 단기조치, 저속운항, 적시성 확보 각각의 주제에 대해 연구를 하였다면, 본 연구는 연구 대상의 적시성을 고려해 대기시간 감소 시나리오별 최적선속의 CII 등급 개선효과를 검증하고 향후 필요한 과제를 제안하는 연구로서 세 가지 요소를 종합적으로 고려한 융합연구로 볼 수 있다.

〈그림 1-6〉 선행연구와 본 연구의 연구범위 비교



자료: 저자 작성

〈표 1-4〉 선행연구와 본 연구의 차별성

구분	선행연구		본 연구
	요약	참고문헌	
연구 목표	• 단기조치 충족을 위한 전략, 정책, 법제도 또는 기술적 조치 제안 • 단기조치가 산업계에 미치는 부정적인 영향 및 산업계 해결방안 제시 • 비규제 대상의 단기조치 이행가능성 검토 • 적시성 영향 검토 및 항만 개선방안	• 홍상용·전해동(2022) • 남상욱(2021) • 임호근 외(2023) • 조수현 외(2023) • Garbatov, Y. 외(2023) • Tran. T. 외(2023) 등	• 접안 대기시간 감소에 따른 CII 등급 개선효과 평가 • 적시성 확보 관련 향후 과제 제언
연구 대상	• 일부 선종(컨선, 석유제품운반선, 탱커 등) • 규제를 충족하기 위한 수단(저속 운항, 선속 감소, 풍력보조장치, 선원 훈련 등) • 선박 또는 항만 중심의 적시 도착(JIT, just in time arrival)	• 공인영 외(2019) • 김동윤·신학승(2023) • 조수현 외(2023) • Bayraktar, M 외(2023) • Dewan, M. H. 외(2023) • Yoon, J. H. 외(2023) 등	• 우리나라 국적선대 • 부산신항
연구 범위	• IMO 단기조치(EEXI 및 CII) • 특정 해역(흑해, 극지, 발틱해 등) • 특정 항만(부산신항 등)	• 한국선주상호보험(2022) • Vasilikis, N. 외(2023) • De Andres Gonzalez, O. 외(2021) • Yoon, J. H. 외(2023) 등	• IMO 단기조치(CII) • 접안 대기시간
연구 방법	• 체계적 문헌고찰 및 사례분석 • 머신러닝, 알고리즘 분석 • 시나리오 분석, 비용편익(효과) 분석	• Vasilikis, N. 외(2023) • Sun, W. 외(2022), 송용석 외(2006) • Garbatov, Y. 외(2023) • 임상섭 · 이병엽(2022) 등	• 항만터미널의 선석별 접안 계획 및 AIS 데이터 비교 분석 • IMO DCS 데이터 및 AIS 데이터기반 항로 모델링을 통한 항해거리, 항해시간, 대기시간 분석 • 선박별 엔진마일 및 연료 소모량 분석 • CII 등급 전망 및 대기시간 감소에 따른 개선효과 분석

자료: 저자 작성

02

IMO와 우리나라의 온실가스 감축 정책

제1절 IMO의 국제해운 배출 온실가스 감축 정책

1. IMO 선박 배출 온실가스 감축전략

1) 초기전략

2018년 제72차 MEPC는 IMO 선박 배출 온실가스 감축 초기전략(이하 초기전략)을 채택하였다. 초기전략은 파리기후협약 목표와 부합하는 CO2 배출 감축 목표를 설정하여, 금세기에 가능한 빠르게 국제해운의 온실가스 배출량을 단계적 감축한다는 비전을 담고 있다.

초기전략의 의욕 수준은 신조선 에너지 효율성의 추가 향상을 통한 선박 탄소집약도 감축, 국제해운의 운송 작업량당 CO2 배출량을 2030년까지 최소 40%, 2050년까지 70% 감축을 목표로 국제해운의 탄소집약도 감축, 2008년 국제해운 연간 온실가스 총 배출량 대비 2050년까지 최소 50% 감축으로 설정하였다.

초기전략은 시점별(단기: '18년~'23년, 중기: '23년~'30년, 장기: '30년

이후) 후보조치들을 포함한다. 단기 후보조치에는 기존 에너지 효율체계의 추가적 개선, 신조선 및 현존선의 기술적·운항적 에너지 효율 조치 개발, 기존 선대 개선 프로그램 마련, 최적 선속 및 선속 저감 분석, 메탄 및 유기성 화합물 배출 해결방안, 국가행동계획(National action plan) 개발 및 업데이트 장려, 기술협력 및 역량강화 활동, 선박 온실가스 배출 감축을 위한 항만 개발, 연구개발 활동 착수 및 국제해사연구이사회 설립, 신기술 도입 선도자에 대한 인센티브 등 13가지 후보조치들이 포함되어 있다. 중기 후보조치는 저탄소 및 무탄소 연료 확보 프로그램, 신조선 및 현존선에 대한 운항적 에너지 효율지표, 시장기반조치(MBM: Market-based Measures) 등이 포함되었으며, 장기 후보조치는 해운의 무탄소 연료 개발과 신기술 적응 장려에 관한 사항을 포함하고 있다.

초기전략은 초기전략 이후의 마일스톤을 후속조치로써 포함하고 있는데, 의욕 수준과 후보조치 등이 고정적이지 않으며 향후 변화를 고려해 제80차 MEPC의 개정된 전략(Revised Strategy)을 채택할 것으로 나타내고 있다.

2) 2023 IMO 온실가스 감축전략

IMO 회원국들은 초기전략에 따라 2023년 제80차 MEPC에서 개정된 전략에 합의하며 ‘2023 IMO 감축전략’이 채택하였다. 2023 IMO 감축전략은 초기전략과 비교해 가능한 빠르게 국제해운의 온실가스 배출량 단계적 감축이라는 비전은 동일하지만 시기는 구체적으로 명시하지 않으며 ‘정의롭고 공평한 전환¹⁷⁾’을 추가하며 차별 없는 전환을 강조하고 있다.

2023 IMO 온실가스 전략의 의욕 수준은 초기전략과 비교하여 대폭 향상되고 구체적인 목표를 수립하였다. 새로이 정립된 의욕 수준은 ① 신조선

17) just and equitable transition

에너지 효율성의 추가 향상을 통한 선박 탄소집약도 감축, ② 국제해운의 운송 작업량당 CO₂ 배출량을 2030년까지 최소 40% 감축을 목표로 국제해운의 탄소집약도 감축, ③ 2030년까지 국제해운에 사용된 에너지의 5~10%에 대한 제로 또는 제로에 가까운 온실가스 무배출(zero emission) 또는 무배출에 가까운 기술, 연료, 에너지원 활용, ④ 2050년경 국제해운의 온실가스 배출량 넷제로(Net-Zero) 달성으로 정리할 수 있다.

또한, 동 전략은 의욕 수준의 원활한 달성을 위하여 중간점검지표를 설정하였다. 중간점검지표는 목표는 아니지만 목표 달성을 위한 궤적에 부합하고 있는지를 점검하는 과정이라고 볼 수 있으며, ① 2030년까지 2008년 대비 국제해운 연간 총 온실가스 배출량 최소 20% 감축, 30% 감축 노력 ② 2040년까지 2008년 대비 국제해운 연간 총 온실가스 배출량의 최소 70%, 80% 감축을 노력한다는 내용을 명시하고 있다.

〈표 2-1〉 초기전략과 개정된 전략의 감축목표 비교

목표 시기	구분	감축 목표 내용	
		초기전략	2023 IMO 감축전략
'30년	의욕 수준	• CO ₂ 배출량 최소 40% 감축 목표	• CO ₂ 배출량 최소 40% 감축 목표 • 온실가스 배출 제로 기술 및 연료(에너지원) 비중 5% 달성, 10% 달성 노력
	중간 점검지표	-	• 연간 온실가스 배출량 최소 20% 저감, 30% 달성 노력
'40년	중간 점검지표	-	• 연간 온실가스 배출량 최소 70% 저감, 80% 달성 노력
'50년	의욕 수준	• CO ₂ 배출량 최소 70% 저감 노력 • 연간 총 온실가스 배출량 50% 저감	• 온실가스 순 배출량 "0"

자료 : IMO RESOLUTION MEPC.304(72) 및 MEPC.377(80)을 참조하여 저자 작성

초기전략에 따르면 '단기'에 해당하는 기간은 2018년~2023년이므로 2023 IMO 감축전략에 단기조치를 추가로 개발할 수는 없지만, 단기조치

3년간 이행한 이후 개정사항 발굴을 위해 2026년 1월 1일까지 검토해야 함을 규정하고 있다. 또한, 2023 IMO 온실가스 감축 전략의 후속적인 조치는 중기결합조치 형태 확정과 채택을 목적으로 종합영향평가 착수부터 시작한다. 종합영향평가 결과를 기반으로 2025년 중기조치 승인 및 채택이 진행되어 2027년 발효될 예정이다. 2023 IMO 감축전략은 다시 5년 뒤인 2028년에 개정을 위한 작업이 진행될 예정이다.

2. 국제해운 배출 온실가스 감축 조치

1) 단기조치

IMO는 초기전략에 포함된 단기조치 후보 중 신조선 및 현존선의 기술적, 운항적 에너지 효율 개선 조치를 개발하기 시작하였다. 그에 따라 2021년 6월 제76차 MEPC에서 MARPOL 부속서 6장 개정안을 통해 기술적 조치인 EEXI와 운항적 조치인 CII가 결합된 단기조치를 채택하였으며 2023년 1월 1일 발효되었다.

(1) 현존선 에너지 효율지수(EEXI)

EEXI는 제62차 MEPC에서 채택한 EEDI 원리를 그대로 현존선에 적용한 규제이다. EEDI는 선박이 1톤의 화물을 1해리¹⁸⁾ 운송할 때 배출하는 이산화탄소의 배출량을 기술적 지표로 표현한 것을 의미한다. 그래서 선박이 어떤 속력으로 화물을 운송할 때 주기관 및 보조기관의 출력으로 연료를 소비하여 발생하는 이산화탄소를 계산한다.

18) 바다에서 거리를 나타내는 단위, 1.852km

〈그림 2-1〉 EEDI 및 EEXI 계산식

$$\begin{aligned}
 & \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{IME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{FAE} \right) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} \cdot \sum_{l=1}^{nEff} f_{Eff(l)} \cdot P_{Eff(l)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{FAE} - \left(\sum_{i=1}^{nEff} f_{Eff(i)} \cdot P_{Eff(i)} \cdot C_{IME} \cdot SFC_{IME} \right) \\
 & \quad \quad \quad f_j \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w \\
 & \quad \quad \quad \text{TRANSPORT WORK}
 \end{aligned}$$

자료: ICCT(2011)

EEDI는 2013년 1월 1일 이후 건조되는 신조선¹⁹⁾에 대해 선종별 허용 값을 준수하여 건조되도록 규제하는 기술적 조치이다. 그 때문에 2013년 이전에 건조되어 운항 중인 선박의 에너지 효율성에 대해서는 제재하지 못했다. 반면 EEXI는 총톤수 400톤 이상의 현존선에도 에너지 효율을 개선할 수 있는 기술적 조치이다.

〈그림 2-2〉 EEDI 및 EEXI 특징



자료: IMO(b)

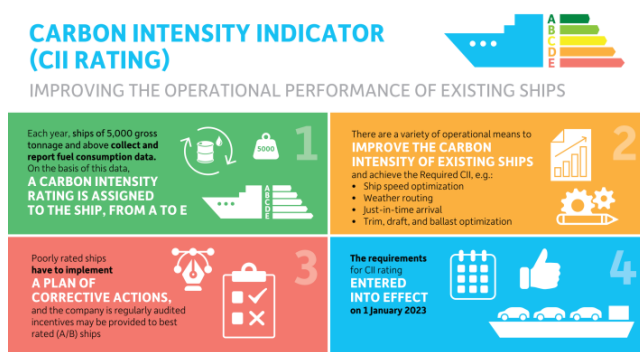
(2) 탄소집약도지수(CII)

CII는 MARPOL 부속서 6장 규칙 27에 따라 연간 선박 연료 데이터수집 시스템(DCS: Data Collecting System, 이하 DCS)과 유사하게 총톤수 5,000GT 이상 선박에 적용된다. 또한, 규칙 28에 따라 매년 1월 1일부터

19) 컨테이너선, 가스운반선, 유조선, 산적화물선, 일반화물선, 냉동화물운반선, 검용선 등 7종은 EEDI 허용 값을 준수하여 건조되어야 함

12월 31일까지 12개월 동안에 대한 연간 CII 달성값(attained CII)를 계산한다. 선박들은 개별 CII 달성값에 기반하여 등급²⁰⁾으로 구분되며, 3년 연속 D 등급 또는 1년 E등급에 해당하는 선박은 C 이상의 등급 달성을 위한 시정조치 계획서를 제출해야 한다. CII는 EEDI 및 EEXI와 같은 기술적 조치와 달리 직접적으로 운항을 규제하는 조치이다. 연간 감축률이 증가하기 때문에 선사의 선대 관리가 각별히 요구된다.

〈그림 2-3〉 CII의 주요 특징



자료: IMO(b)

2) 중기결합조치(Basket of candidate mid-term measures)

제76차 MEPC는 단기조치 채택과 동시에 초기전략과 연계하여 중장기 조치 개발을 위한 작업계획²¹⁾을 승인하였다. 그리고 기술적 요소인 목표기반 해양연료 표준제와 경제적 요소인 온실가스 배출 가격 메커니즘을 결합한 중기결합조치의 형태와 구체적인 규제사항에 대해 논의 중이며 2026년 10월에 개최하는 특별 MEPC에서 채택될 예정이다.

20) A, B, C, D, E로 등급이 구분되며 가장 우수(A), 경미한 우수(B), 보통(C), 경미한 열등(D) 또는 열등한 성능(E) 수준을 나타냄

21) 3단계(1단계: 제안된 조치의 비교 및 초기 고려, 2단계: 조치의 추가 개발을 위한 평가, 3단계: 조치 개발 완료)로 구성(자료: MEPC 76/15/Add.2 Annex 14)

제2절 우리나라의 국제해운 배출 온실가스 감축 정책 —

1. 친환경 선박법 및 친환경 선박 기본계획

1) 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률

국제사회가 요구하는 선박 온실가스 배출 감축을 위하여 우리나라 정부, 해양수산부는 「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(이하 친환경 선박법)」을 제정하였다. 동법은 ① 해양오염 저감 기술 또는 선박에너지 효율 향상 기술을 사용하여 설계된 선박, ② 액화천연가스 등을 사용하는 선박, ③ 전기에너지를 사용하는 전기추진선, ④ 휘발유·경유·액화석유가스·천연가스 등의 연료와 전기에너지를 조합하여 사용하는 하이브리드선박, ⑤ 수소 등에 의한 전기에너지를 사용하는 연료전지 추진선을 환경친화적 선박으로 정의하고, 해당 선박들을 개발·보급함으로써 깨끗한 해양 환경 조성하고 국가 경제에 이바지하는 데 목적을 두고 있다.

2) 제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획

해양수산부는 친환경 선박법에 근거하여 2020년 12월 친환경 선박 기술개발 및 보급촉진의 기본방향을 제시한 「제1차 친환경 선박 개발·보급 기본계획(이하 친환경 선박 기본계획)」을 공표하였다. 친환경 선박 기본계획은 2021년부터 2030년까지 친환경 선박의 개발과 보급 촉진을 위한 계획을 포함하며, ‘2030 그린쉽-K 추진전략’이라 명명하였다.

친환경 선박 기본계획의 주요 내용은 다음과 같이 4가지 계획으로 분류된다. 첫째로 기술개발이다. 친환경 선박 관련 기술개발 계획의 목적은 미래 친환경 선박의 선도 기술을 확보하는 데 있다. 하여 LNG, 전기, 하이브

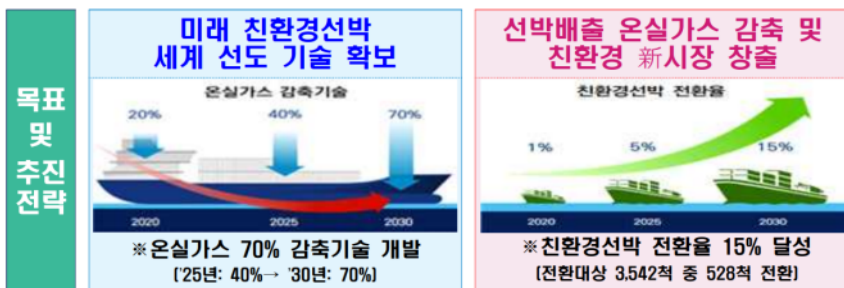
리드 추진 방식의 핵심 기자재 및 기술, 혼합연료 등의 저탄소 연료 기술, 더 나아가 수소 및 암모니아 등 무탄소 연료를 사용하는 등 점진적으로 고도화하는 기술의 개발 계획을 수립하였다.

둘째로 친환경 기술을 적용한 선박의 실증 프로젝트 계획이다. 주된 목표는 개발된 친환경 기술을 실제 선박에 적용하여 성능 및 신뢰성을 검증하는 것으로 선제적으로 소형 연안선으로 시작하여 대형선박까지 확대 실증하는 것을 목표로 설정하였다. 이를 위하여 해상실증용 선박 건조, 관공선 개조 등을 통한 해상실증 테스트베드를 구축하는 계획을 수립하였다.

셋째로 친환경 선박의 보급 촉진 전략이다. 앞서 계획된 기술개발을 공공부문에 우선 적용하고, 점차 민간부문으로 확산하고자 한다. 이를 통해 국적선대 3,542척 중 528척(15%)을 친환경 선박으로 전환하는 계획을 수립하였다.

마지막으로 연료공급 인프라 및 운영체계 구축 전략이다. 친환경 선박 보급 촉진과 상용화를 위해 LNG, 전기 등 친환경 연료공급 인프라를 점진적으로 확충하고자 한다. 세부적으로는 LNG 병커링 선박 운영 등의 LNG 연료공급 수단을 확대하고 육상전원공급설비를 확충하고자 하는 계획을 수립하였다.

〈그림 2-4〉 친환경 선박 기본계획의 추진 목표



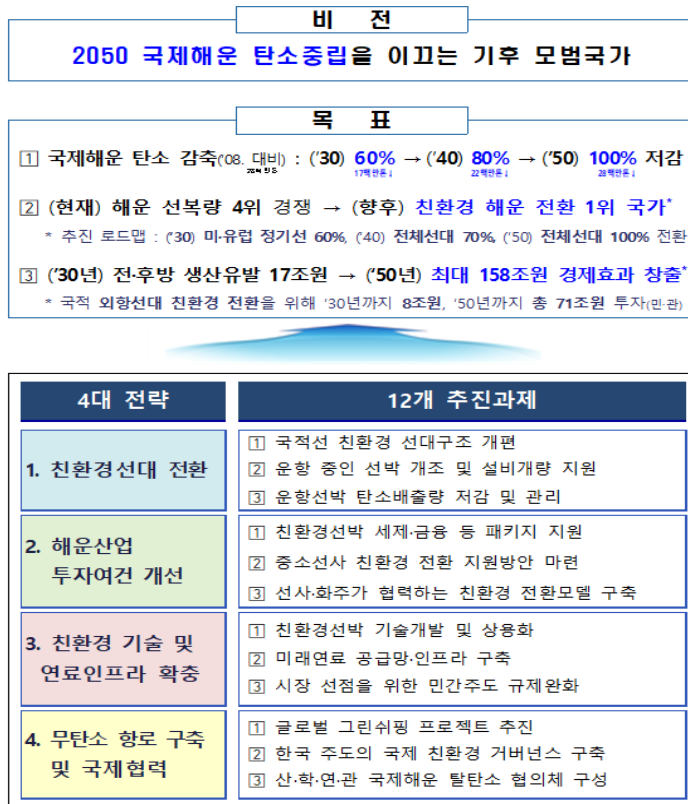
자료: 해양수산부

2. 국제해운 탈탄소화 추진전략 및 관련 지원사업

1) 국제해운 탈탄소화 추진전략

해양수산부는 2023년 2월 탈탄소 규제 강화에 대한 선제적 대응과 산업계의 글로벌 경쟁력 제고를 위한 「국제해운 탈탄소화 추진전략」을 마련하였다. 해당 전략은 친환경 선대 전환, 해운산업 투자여건 개선, 친환경 기술 및 미래연료 인프라 확충, 무탄소항로 구축 및 국제협력으로 구성된다.

〈그림 2-5〉 국제해운 탈탄소화 추진전략



자료: 해양수산부 보도자료(2023.02.14.)

친환경 선대 전환 관련 전략은 '50년까지 총톤수 5천 톤 이상 외항선대의 중장기적인 친환경 전환 로드맵을 포함하고 있다. 2030년까지는 유럽 및 미주 항로 정기선대의 60%를 전환하되, 대체 건조 시 e메탄올, LNG 등을 사용하는 이중연료 선박 또는 기술개발 속도에 따라 암모니아, 수소 등을 사용하는 신조선을 건조하는 방향으로 추진한다. 또한, 선령 10년 미만의 비교적 최신 건조된 저선령의 선박은 친환경 연료를 사용할 수 있도록 친환경 개조를 지원하고, 개조가 불가능한 선박은 고효율 발전기 등 친환경 기자재 탑재와 같은 방식으로 선박 에너지 효율을 개선할 계획이다. 이로써 저선령, 고선령의 국적선대 모두 친환경 선박으로 전환할 수 있도록 구성되었다.

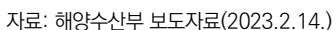
해운산업 투자여건 개선에 대한 전략은 국적선대의 친환경 선박 전환 투자를 유도하기 위한 금융 지원이다. 이는 금융권 대출에도 불구하고 부족한 자금을 공공기금 조성(최대 4조 5천억 원 규모)을 통해 후순위 대출, 금리인하 혜택 부여를 포함한다. 그 외 취득세 지원, 중소기업사 지원 확대 및 특별보증 지원 등을 추진한다.²²⁾

친환경 기술 및 미래연료 인프라 확충에 대한 전략은 현재 진행형인 친환경 선박 시장을 독자적 친환경 기술과 인프라 개발로 주도하고자 하는 의지이다. 따라서 연구개발 사업을 통해 저탄소 및 무탄소 선박의 원천기술 개발, 차세대 연료 전환에 대응하기 위한 연료공급·저장 시설 등 항만시설 확충, 법령 및 제도 정비를 추진할 예정이다.

무탄소 항로 구축 및 국제협력에 대한 전략은 무탄소항로 구축을 포함한 국제협력 정책이다. 우리나라는 2022년 UNFCCC의 제27차 COP의 정상급 이벤트 행사에서 미국, 노르웨이 등 국가들과 녹색해운 목표를 선언하

22) '30년까지 8조 원, '50년까지 총 71조 원의 해운기업, 정부, 공공기관 자금 투자 예상(자료: 국제해운 탈탄소화 추진전략)

〈그림 2-6〉 국제해운 탈탄소화 추진전략의 세부 추진과제



24) 해양수산부 보도자료(2023.11.6.)

2) 친환경 선박 지원사업 확대

해양수산부는 2024년 4월 15일 IMO의 CII 등 친환경 규제 강화와 화주의 친환경 운송 요구를 고려하고 국적선사의 경영 회복과 친환경 선대 전환 가속화를 위해 「해운산업 경영안전 및 활력 제고 방안」을 마련하였다. 2022년 11월에 마련한 「해운산업 경쟁력 강화방안」에 추가적으로 약 3.5조원을 더 투자함으로써 선사 지원 규모를 확대하는 계획이다.

〈그림 2-7〉 해운산업 경영안전 및 활력 제고 방안의 투자계획

「해운산업 경쟁력 강화 방안」(22.11)		「해운산업 경영안전 및 활력 제고 방안」(24.4)	
위기대응펀드	1조원	중소선사 특별지원 프로그램 확대	0.25조원
중소선사 특별지원 프로그램	0.25조원	신조지원 프로그램 확대	2.03조원
공공선주사업	1.5조원	친환경 벙커링 인프라 구축펀드	1.1조원
해진공 자본금	0.24조원	친환경 선박 전환 보조금	0.1조원
계	2.99조원	계	3.48조원

자료: 해양수산부 보도자료(2024.4.15.)

먼저, 중소선사 대상 특별 지원 규모를 2,500억 더 지원하면서 규모를 2배로 확대하고, 친환경 신조선 건조에는 총 5.5조원²⁵⁾ 규모의 지원사업 패키지를 마련하게 된다. 또한, 친환경 연료의 원활한 수급을 위해 국내 항만의 친환경 연료 공급체계도 구축할 계획이다.

25) 신조지원프로그램(4.05조 원) + 그린조선펀드(0.8조 원) + 위기대응펀드(0.5조 원) + 친환경 선박 전환 보조금(0.1조 원) = 5.45조 원(자료: 해양수산부 보도자료(2024.4.15.))

제3절 소결 및 시사점

IMO의 국제해운 배출 온실가스 감축을 위한 노력은 1997년부터 시작한 다. 그러나 본격적으로 주목할 만한 성과가 도출되기 시작한 시기는 2018년에 채택된 초기전략부터라고 할 수 있다. 초기전략은 IMO 회원국들이 제안한 온실가스 감축 방안들을 후보조치로 포함하였는데, 단기(2018~2023년) 후보조치에는 신조선 및 현존선의 기술적·운항적 조치가 포함되어 있었고 이것이 EEXI 및 CII의 첫 단추였다. 초기전략이 채택되고 5년 뒤에 채택된 개정전략, 2023 IMO 감축전략은 더 강화된 의욕 수준을 명시한다. 또 현재 종합영향평가를 통해 논의를 진행 중인 중기결합조치를 포함하고 있다. 이렇듯 IMO의 전략과 조치 채택은 IMO 규제에 귀결된다.

친환경 선박법은 선주와 연료 생산자를 지원하여 친환경 선박을 개발하고 보급하여 조선해운산업 발전과 청정 해양환경을 확보하고자 한다. 그러한 목적에 따라 친환경 선박 기본계획뿐만 아니라 국제해운 탈탄소화 추진 전략 역시 노후선의 친환경 선박 대체 건조를 우선적으로 고려해 다양한 금융지원 정책을 확대하고 있다. 더불어 우리나라는 국제해운 탈탄소화 추진전략을 통해 2050년 국제해운 탄소 감축 100% 저감이라는 진취적인 목적을 전 세계에 공표하였으며, 미국, 호주, 싱가포르와 함께 무탄소 연료를 사용하는 녹색해운항로 구축에 적극적인 움직임을 보이고 있다.

이렇듯 국내외 정책들은 탄소 배출을 억누르고 신기술 보급에 열을 올리며, 화석연료를 사용하던 선박을 친환경 선박으로 전환하고 대체연료 인프라를 갖춘 항만으로 변모하는 데 집중하고 있다. IMO와 국내 친환경 해운을 위한 정책이 중장기적으로는 무탄소 연료를 사용하는 선박이겠지만, 무탄소 연료 추진선은 기술의 안전성과 충분한 수요가 발생하기까지 상용화에 시간이 소요된다. 그러므로 과도기적으로 화석연료 또는 저탄소 연료를

사용하면서 에너지 효율을 높일 수 있는 방법들을 보조적으로 병행해야 한다. 이 과정에서 불필요한 탄소 배출을 막기 위해 노력해야 하는데 현재의 국내외 정책 동향에서 에너지 효율 향상 방법 내 선박의 접안 대기시간 감소는 고려되지 않는 것으로 보인다.

과도한 체선으로 인한 선박의 접안 지연은 에너지 효율을 저해하는 요소이지만 선박 또는 항만이 개별적으로 움직여서는 효과가 나타나기 어렵다. 선박과 항만 간 협업은 에너지 효율성 향상과 친환경 연료 추진선 확대를 위해 기본적으로 이루어져야 하는 부분이다. 또 기후위기 대응을 위한 목표 달성에 크게 기여할 수 있는 부분이다. 그럼에도 불구하고 선박의 접안 대기시간 고려나 항만 체선의 이유를 파악하고 해결하기 위한 노력이 현재의 국내외 탈탄소화 정책과는 거리가 있어 보인다.

03

국적선대 탄소집약도지수 등급 전망

제1절 국적선대 탄소집약도지수(CII) 계산

1. CII 달성값(Attained CII)

MARPOL 협약과 CII 가이드라인은 운항적 탄소집약도지수로 언급되는 CII를 ‘선박의 운송작업량당 CO₂ 평균 배출량’으로 지칭하고 있다. 개별선박의 연간 운항적 CII 달성값(attained CII)은 달력 연도(calendar year)를 기준으로 전체 운송작업량(W)당 CO₂ 총 배출량(M)의 비율을 계산한다.²⁶⁾ CO₂ 총 배출량(M)은 달력연도 기준 선상에서 소비된 연료유로부터 발생한 CO₂ 배출량 합계를 의미하며, 달력연도 기준으로 IMO의 DCS에 보고된 소비한 연료(j)별 전체 소비량(FC_j)과 CO₂ 변환계수(C_{Fi})²⁷⁾를 곱한 것으로 나타낸다.

26) CII Guideline G1(IMO Resolution MEPC.336(76), MEPC.352(78))

27) 유종별 CO₂ 변환계수는 신조선의 에너지 효율설계지수(EEDI) 달성값 계산법에 관한 가이드라인(Resolution MEPC.308(73))과 동일하게 적용되며, 해당 가이드라인에 포함되지 않은 연료유는 정유업체로부터 변환계수를 문서로써 제공받아야 함

〈표 3-1〉 연료별 CO₂ 배출 변환계수

연료 종류	저위발열량 (kJ/kg)	탄소 함량	Cf (t-CO ₂ /t-Fuel)
디젤/가스오일	42,700	0.8744	3.206
경질유(LFO)	41,200	0.8594	3.151
중유(HFO)	40,200	0.8493	3.114
액화석유가스(LPG)	46,300	0.8182	3.000
	45,700	0.8264	3.030
액화천연가스(LNG)	48,000	0.7500	2.750
메탄올	19,900	0.3750	1.375
에탄올	26,800	0.5217	1.913

자료: IMO Resolution MEPC.308(73)

운송작업량(W)은 선박에 탑재된 수화물의 실제 또는 추정량을 기반으로 계산된 수요기반과 수화물 양을 선박의 용적으로 대체하여 계산하는 공급 기반이 있다. 여기서는 실제 운송작업량에 대한 데이터가 부재한 관계로 공급기반 운송작업량을 계산하였다. CII 가이드라인 G1은 공급기반 운송작업량을 달력연도 기준 선박 용적(C)과 항해거리(D)의 곱으로 정의하고 있다. 단, 선박 용적은 선종에 따라 재화중량톤수(DWT: deadweight tonnage)²⁸⁾ 또는 총톤수(GT: Gross tonnage)²⁹⁾로 다르게 적용³⁰⁾할 수 있으며, 항해거리는 DCS에 보고된 해상마일(해리, nautical miles)을 적용한다.

28) 재화중량톤수는 온도가 올라가면서 물의 밀도가 가장 낮은(1,025 kg/m³) 하기(summer)에는 흘수가 가장 깊는데 하기만 재출수선까지 적재한 경우의 배수량과 경하배수량(lightweight)의 차이를 계산하여 톤수로 산정한 것으로서 화물의 중량을 나타내며 선박항행의 안전을 확보할 수 있는 최대 적재량을 표시하는 지표 역할(자료: IMO Resolution MEPC.336(76) 및 MEPC.352(78), 선박항해용어사전)

29) 총톤수는 선박의 크기를 나타내는 지표로서 국제선박톤수측정협약(International Convention on Tonnage Measurement of Ships)에 따라 계산함(자료: IMO Resolution MEPC.336(76) 및 MEPC.352(78), 선박항해용어사전)

30) 벌크선, 탱커, 컨테이너선, 가스운반선, LNG운반선, 일반화물선, 냉동화물선, 견용선은 용적으로서 DWT, 크루즈 여객선, 로로(RO-RO) 자동차 운반선, 로로(RO-RO) 화물선, 로로(RO-RO) 여객선은 용적으로서 GT 사용

$$attained CII_{ship} = M \times W = FC_j \times C_{Fj} / C \times D_t \text{ ----- (1)}$$

본 연구는 2022년 기준 국적선 및 국적취득조건부 나용선(BBCHP: Bare Boat Charter Hire Purchase, 이하 BBCHP) 총 750척의 DCS 데이터를 기반으로 CII 달성값을 계산하였다. 본 연구에서 국적선대의 향후 연도별 CII 달성값을 전망하기에는 선박별 항로계획 변경, 연료유 변경, 폐선 또는 매매 등 많은 가정과 변수가 수반되어 불확실성이 증가되므로 2022년의 CII 달성값이 유지된다는 가정을 전제로 연구를 진행하였다.

2. CII 허용값(Required CII)

선박은 용적에 따른 변수(parameter)인 a와 c를 적용해 계산된 CII 기준값(CII_{ref})을 가지며, G1 가이드라인에 따라 계산된 CII 달성값(attained CII)과 비교할 수 있다. a와 c의 변수는 2019년 IMO DCS를 바탕으로 산출한 개별 선박의 용적(capacity)과 CII 달성값을 기반으로 중위수 회귀분석(median regression)을 통해 도출된 매개변수이다. CII 가이드라인 G2는 <표 3-2>와 같이 매개변수에 대한 다른 구체적인 값을 명시하고 있다.

$$CII_{ref} = a Capacity^{-c} \text{ ----- (2)}$$

그러나 <표 3-2>와 같이 상기의 CII 기준값은 CII 가이드라인 G3에서 규정하고 있는 연간 감축 계수(Z)를 적용해야만 비로소 선박별 연간 CII 허용값(required CII)이 도출될 수 있다. Z는 2019년 기준값 대비 연도별 CII 감축계수로써 선종 및 크기에 상관없이 모든 선박에 동일하게 적용된다. 즉 2020년 1%를 시작으로 2021년 2%, 2022년 3%이며 이후 2026년까지는 2%씩 증가된다. 2027년부터 2030년까지의 감축률은 단기조치에 대한 IMO 회원국들의 검토결과를 고려해 추가적인 강화와 개발을 고려할

예정이다. 본 연구는 국적선대 내 표본대상 추출과 CII 변화분석을 위해 2035년까지 CII 등급을 전망할 예정이므로 <표 3-3>과 같이 2026년 이후에도 감축률이 2%씩 증가함을 가정하였다. 따라서 개별 선박의 CII 허용값은 전체 100%에서 감축률(Z)을 뺀 비율을 CII 기준값에 고려하여 (3)과 같은 산식을 통해 계산할 수 있다.

$$required\ CII_{ship} = (1 - Z/100) \times CII_{ref} \text{ ----- (3)}$$

<표 3-2> 선종 및 선박 크기에 따른 2019년 기준선 결정 인자

선종 및 선박 크기		용적 (capacity)	매개변수	
			a	c
벌크선	279,000 DWT 이상	279,000	4745	0.622
	279,000 DWT 미만	DWT	4745	0.622
가스운반선	65,000 DWT 이상	DWT	14405×10^7	2.071
	65,000 DWT 미만	DWT	8104	0.639
탱커		DWT	5247	0.610
컨테이너선		DWT	1984	0.489
일반화물선	20,000 DWT 이상	DWT	31948	0.792
	20,000 DWT 미만	DWT	588	0.3885
냉동화물선		DWT	4600	0.557
겸용선		DWT	5119	0.622
LNG운반선	100,000 DWT 이상	DWT	9.827	0.000
	65,000 DWT 이상 ~ 100,000 DWT 미만	DWT	14479×10^{10}	2.673
	65,000 DWT 미만	65,000	14479×10^{10}	2.673
자동차 운반선	57,700 GT 이상	57,700	3627	0.590
	30,000 GT 이상 ~ 57,700 GT 미만	GT	3627	0.590
	30,000 GT 미만	GT	330	0.329
로로(RO-RO) 화물선		GT	1967	0.485
로로(RO-RO) 여객선	로로(RO-RO) 여객선	GT	2023	0.460
	SOLAS 10장을 준수하여 설계된 고속선	GT	4196	0.460
크루즈여객선		GT	930	0.383

주: 용적은 구체적인 수치가 정해져 있는 경우를 제외하고 개별 선박의 용적을 그대로 적용함
 자료: IMO Resolution MEPC.337(76) 및 MEPC.353(78)

〈표 3-3〉 2019년 기준선 대비 연간 CII 감축 계수(Z) 및 본 연구에서의 가정

구분	연도(년)	2019년 대비 감축률(%)
IMO	2020	1
	2021	2
	2022	3
	2023	5
	2024	7
	2025	9
	2026	11
본 연구	2027	13
	2028	15
	2029	17
	2030	19
	2031	21
	2032	23
	2033	25
	2034	27
	2035	29

주: IMO는 2026년 이후 감축률은 추후 고려할 계획이지만, 본 연구에서는 2022년부터 2026년까지 감축률이 2%씩 증가하는 것을 고려해 2035년까지 29% 감축으로 가정함

자료: IMO Resolution MEPC.338(76)

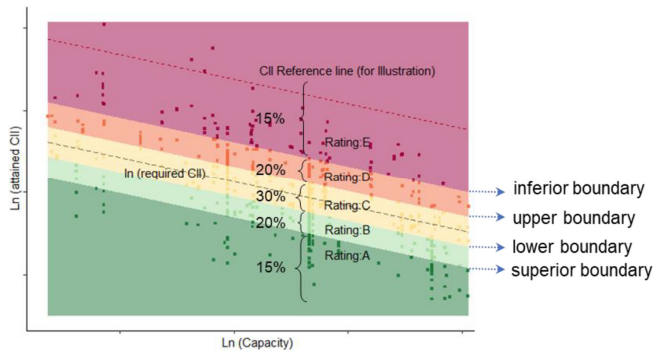
제2절 국적선대 CII 등급기반 연구 대상 추출

1. CII 등급 계산

CII 등급(rating)은 선박의 연간 CII 달성값을 기준값과 비교하여 차이만큼 A(가장 우수), B(우수), C(보통), D(미흡), E(매우 미흡)의 5개 등급으로 분류한다. 등급별 범위는 CII 기준값에 dd 벡터를 적용해 등급 간 경계

를 결정하며, A 등급 15%, B 등급 20%, C 등급 30%, D 등급 20%, E 등급 15%로 나뉜다.

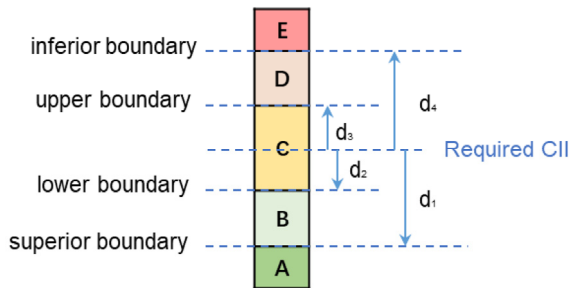
〈그림 3-1〉 CII 등급별 범위



자료: IMO Resolution MEPC.339(76) 및 MEPC.354(78)

네 가지의 경계는 CII 기준값에 지수변환을 통해 추정된 네 가지의 dd 벡터($d1$, $d2$, $d3$, $d4$)를 만들며, CII 가이드라인 G4는 〈그림 3-2〉와 〈표 3-4〉과 같이 선종별로 CII 등급 경계를 결정하는 구체적인 dd 벡터값을 명시하고 있다.

〈그림 3-2〉 dd 벡터 및 등급 범위



$$\begin{aligned} \text{superior boundary} &= \exp(d1) \cdot \text{required CII} \\ \text{lower boundary} &= \exp(d2) \cdot \text{required CII} \\ \text{upper boundary} &= \exp(d3) \cdot \text{required CII} \\ \text{inferior boundary} &= \exp(d4) \cdot \text{required CII} \end{aligned}$$

자료: IMO Resolution MEPC.339(76) 및 MEPC.354(78)

선박들은 2023년부터 발효된 CII 규제를 준수하기 위해 CII 달성값을 산정해 이듬해 3월 말까지 주관청에 보고해야 한다. 또한, 5월 말까지 주관청에서 발행한 적합확인서(SoC: Statement of Compliance, 이하 SoC)를 본선에 배치해야 하는데, SoC에는 상기에서 언급된 CII 등급이 명시된다. 3년 연속 D 등급 또는 단일 연도 E 등급에 해당하는 선박은 CII 달성값을 주관청에 보고한 이후 1개월 이내에 기준값 충족을 위한 시정조치계획을 수립하고 SEEMP³¹⁾에 반영해야 하며, 주관청 확인 후 SoC와 함께 본선에 비치해야 한다. IMO는 주관청, 항만청 및 이해관계자들에게 A 또는 B 등급에 해당하는 선박에 적절한 인센티브 제공을 권장하고 있다.³²⁾ CII 규제의 핵심은 상기에서 언급된 CII 등급에 있기 때문에 본 연구에서는 국적선대의 CII 등급을 전망해보았다.

〈표 3-4〉 선종 및 선박 크기별 dd벡터 수치

선종 및 선박 크기		용적 (capacity)	dd 벡터			
			exp(d1)	exp(d2)	exp(d3)	exp(d4)
가스운반선	벌크선	DWT	0.86	0.94	1.06	1.18
	65,000 DWT 이상	DWT	0.81	0.91	1.12	1.44
	65,000 DWT 미만	DWT	0.85	0.95	1.06	1.25
탱커		DWT	0.82	0.93	1.08	1.28
컨테이너선		DWT	0.83	0.94	1.07	1.19
일반화물선		DWT	0.83	0.94	1.06	1.19
냉동화물선		DWT	0.78	0.91	1.07	1.20
겸용선		DWT	0.87	0.96	1.06	1.14
LNG운반선	100,000 DWT 이상	DWT	0.89	0.98	1.06	1.13
	100,000 DWT 미만	DWT	0.78	0.92	1.10	1.37
자동차 운반선		GT	0.86	0.94	1.06	1.16
로로(RO-RO) 화물선		GT	0.76	0.89	1.08	1.27
로로(RO-RO) 여객선		GT	0.76	0.92	1.14	1.30
크루즈여객선		GT	0.87	0.95	1.06	1.16

자료: IMO Resolution MEPC.339(76) 및 MEPC.354(78)

31) IMO가 에너지 효율 개선을 통해 온실가스 배출을 제한하기 위한 기술적, 운항적 대안으로서 EEDI, EEOI와 함께 개발한 조치로 5천 톤 이상 선박에 선박 연료소모량 자료 수집, 보고, 개선을 위한 모니터링 자료

32) IMO(b)

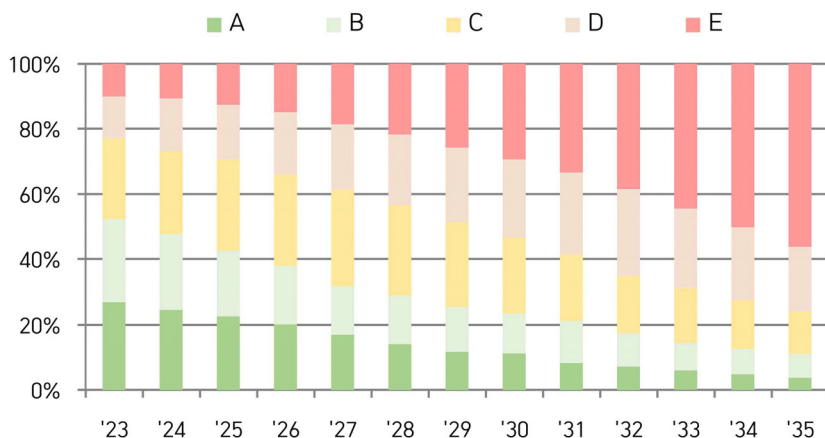
2. 국적선대 CII 등급 전망

본 연구는 2022년 기준 총톤수 5천 톤 이상 외항선 750척을 국적선과 BBCHP 선박으로 나누어 <표 3-3>과 같이 2035년까지 감축률 연간 2% 상승과 2022년 CII 달성값 유지(연료 종류, 연료소모량, 항해거리, 에너지 효율 개선조치 등에 대한 변화 없음)으로 가정하여 어떠한 조치도 취하지 않았을 때 연간 CII 등급 변화를 전망해보았다.

1) 국적선의 CII 등급 전망

국적선 353척 중 D, E등급에 해당하는 선박은 2023년 81척에서 2035년 268척까지 약 3.3배 증가, 2023년 A, B, C등급 선박 272척은 2035년 85척으로 68.75% 감소할 것으로 전망된다.

<그림 3-3> 국적선(353척) CII 등급 변화 전망('23~'35)



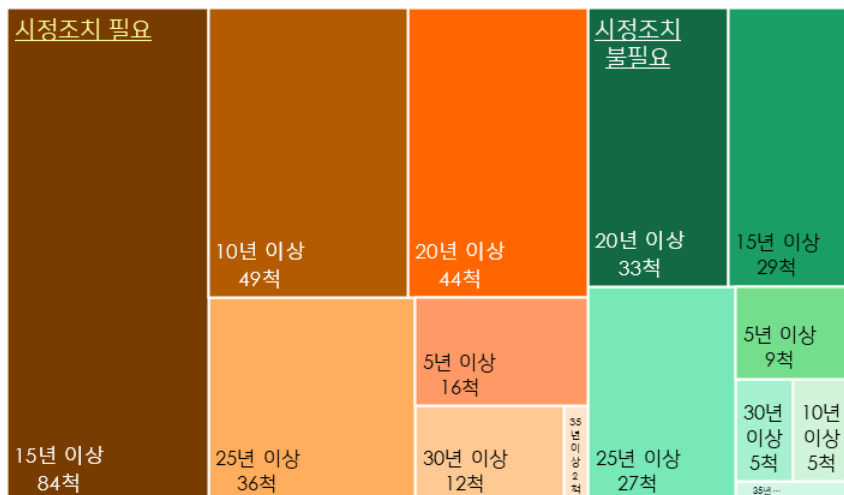
자료: 저자 작성

한편, CII는 D등급 연속 3번 또는 E등급에 해당하는 선박에 시정조치를 요구하는 규제이기 때문에 이러한 조건을 반영하였을 때 2023년 규제 발효부터 3년이 되는 해인 2025년까지 시정조치계획 수립이 필요한 선박은 81척, 2030년까지 153척, 2035년까지 243척이다. 어떠한 조치를 취하지 않고 2022년과 동일한 운항을 유지하는 경우 2035년에는 약 68.8%의 국적 외항선이 시정조치가 요구되는 것이다.

본 연구는 2035년 기준 시정조치 필요 여부에 따라 국적선 선박들을 구분하고 선령을 비교하기 위해 트리맵을 구성하였다. 시정조치가 필요하다고 예상되는 선박들의 선령은 15년 이상 20년 미만의 선박이 84척으로 가장 많고, 10년 이상 15년 미만 49척, 20년 이상 25년 미만 44척, 25년 이상 30년 미만 36척, 5년 이상 10년 미만 16척, 30년 이상 35년 미만 12척, 35년 이상 2척으로 확인된다. 한편, 시정조치가 불필요하다고 예상되는 선박들의 선령은 20년 이상 25년 미만이 33척으로 가장 많고, 15년 이상 20년 미만 29척, 25년 이상 30년 미만 27척, 5년 이상 10년 미만 9척, 30년 이상 35년 미만 5척, 10년 이상 15년 미만 5척, 35년 이상 2척으로 확인된다.

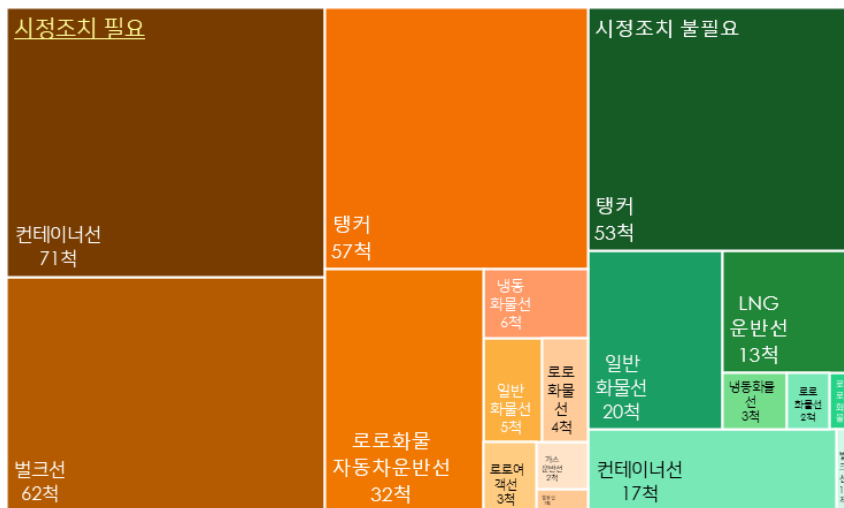
또한, CII 규제에 따라 시정조치 여부가 특정 선종과 연관되는지를 확인하기 위해 2035년 기준 시정조치 필요 여부에 따라 국적선을 구분하고 선종도 트리맵을 구성해 비교하였다. 시정조치가 필요하다고 예상되는 선박들의 선종은 컨테이너선이 71척으로 가장 많고, 벌크선 62척, 탱커 57척, 로로(Roll-On/Roll-Off, 이하 RO-RO) 화물·자동차운반선 32척, 냉동화물선 6척, 일반화물선 5척, 로로(RO-RO) 화물선 4척, 로로(RO-RO) 여객선 3척, 가스운반선 2척, 궤용선 1척이다. 시정조치가 불필요하다고 예상되는 선박들의 선종은 탱커 53척, 일반화물선 20척, 컨테이너선 17척, LNG 운반선 13척, 냉동화물선 3척, 로로(RO-RO) 화물선 2척, 로로(RO-RO) 화물·자동차운반선 1척, 벌크선 1척이다.

〈그림 3-4〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 국적선 선령 비교



자료: 저자 작성

〈그림 3-5〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 국적선 선종 비교



자료: 저자 작성

2) 국적취득조건부 나용선(BBCHP)의 CII 등급 전망

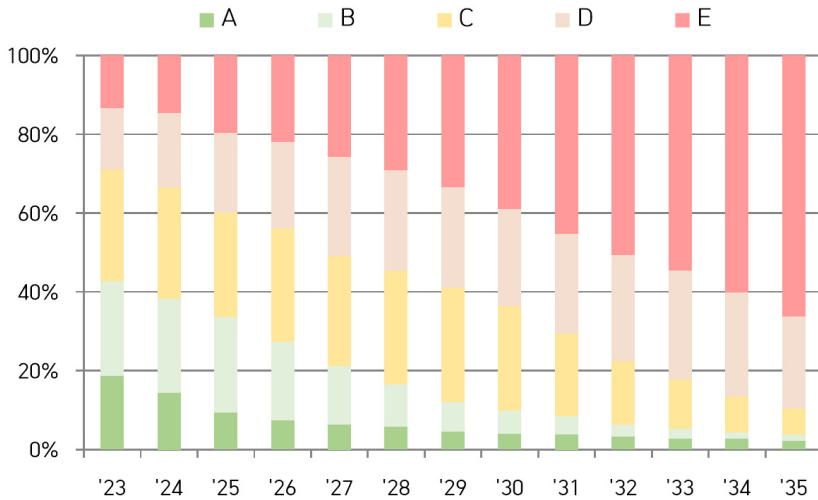
나용선(BBC: Bareboat Charter Agreement) 계약은 선주가 보유하고 있는 선박을 해운회사에 임대하고, 해운회사는 선박을 용선하는 선박 임대차 계약을 의미한다. 용선하는 측에서는 선박 이외에 선원, 장비 및 소모품 일체에 대한 책임을 진다.³³⁾ 이러한 나용선 계약 중 하나인BBCHP는 해양수산부고시 「외항운송사업 면허 및 등록 등 사무처리요령」 제2조(정의)에 따라 ‘외국의 선주로부터 선원 없이 선박만을 일정기간 동안 임차하면서 선박 대금이 포함된 임차료를 임차기간 동안 지급하고 선박대금 지급이 끝나면 소유권이 이전되도록 계약된 선박’을 뜻한다. 쉽게 말하면 용선자가 외국선주 소유 선박을 빌려 사용하면서 선박대금을 포함한 임차료를 완납한 후에 용선자의 국적으로 소유권을 취득하게 되는 선박을 의미하므로 BBCHP는 국적 용선사가 소유권을 이전받는 것으로 약정하고 임차한 선박 이기에 국적선에 준한다.³⁴⁾

본 연구는 2022년 기준 BBCHP 397척에 대해서도 2035년까지의 CII 등급 변화를 전망하였다. BBCHP 397척 중 D, E등급에 해당하는 선박은 2023년 115척에서 2035년 356척까지 약 3.09배 증가, 2023년 A, B, C 등급에 해당했던 선박 282척은 2035년 41척으로 약 85.46% 감소할 것으로 전망됨에 따라 시정조치계획이 필요한 선박은 2025년까지 115척, 2030년까지 217척, 2035년까지 326척(약 82.11%)이 해당된다. 국적선과 BBCHP의 44척 차이에도 불구하고 BBCHP 선박들의 CII 대응이 더 요구된다는 것을 확인할 수 있다.

33) 카고뉴스 용어관리(검색일: 2024.5.19.)

34) 해양수산부 소관 법률 「해운법」 제2조(정의) 제7호는 선박대여업을 해상여객운송사업이나 해상화물운송사업을 경영하는 자 외의 본인이 소유하고 있는 선박(소유권을 이전받기로 하고 임차한 선박을 포함한다)을 다른 사람(외국인을 포함한다)에게 대여하는 사업으로 정의하고 있으며, 여기서 소유권을 이전받기로 하고 임차한 선박은 나용선을 의미함

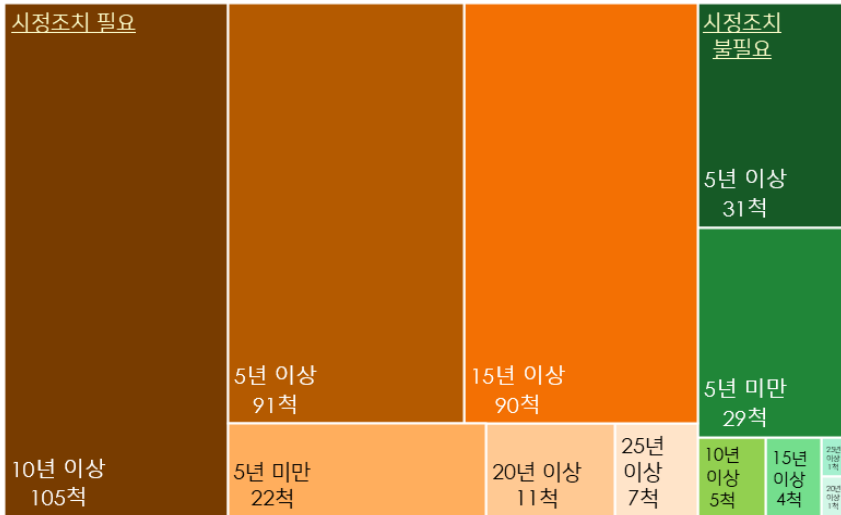
〈그림 3-6〉 BBCHP(397척) CII 등급 변화 전망('23~'35)



자료: 저자 작성

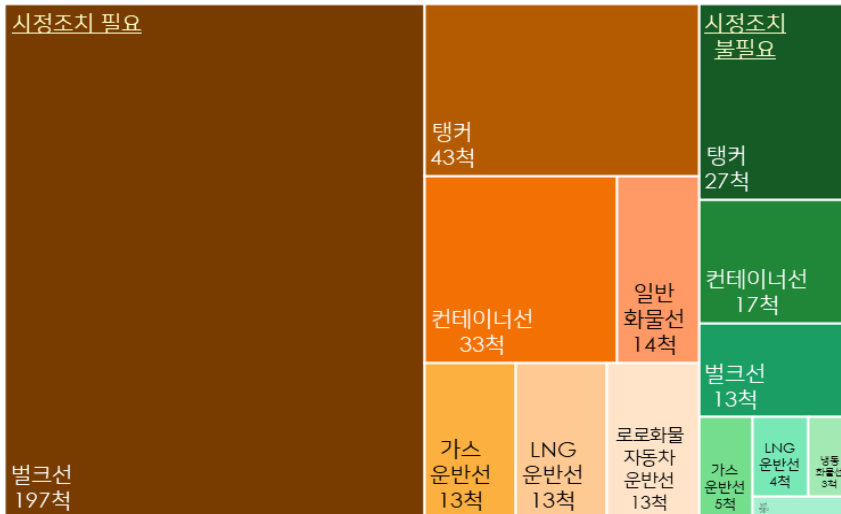
또한, 2035년 기준 시정조치 필요 여부에 따라 BBCHP 선박들을 구분하고 선령 및 선종에 대한 트리맵(Tree Map)을 구성하였다. BBCHP에서 시정조치가 필요하다고 예상되는 선박들의 선령은 10년 이상 15년 미만의 선박이 105척으로 가장 많았고, 5년 이상 10년 미만 91척, 15년 이상 20년 미만 90척, 5년 미만 22척, 20년 이상 25년 미만 11척, 25년 이상 30년 미만 7척이다. 한편, 시정조치가 불필요하다고 예상되는 선박들의 선령은 5년 이상 10년 미만의 선박이 31척으로 가장 많고, 5년 미만 29척, 10년 이상 15년 미만 5척, 15년 이상 20년 미만 4척, 25년 이상 30년 미만 1척, 20년 이상 25년 미만 1척이다.

〈그림 3-7〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 BBCHP 선령 비교



자료: 저자 작성

〈그림 3-8〉 '35년 CII 등급 예측기반 시정조치 필요/불필요 BBCHP 선종 비교



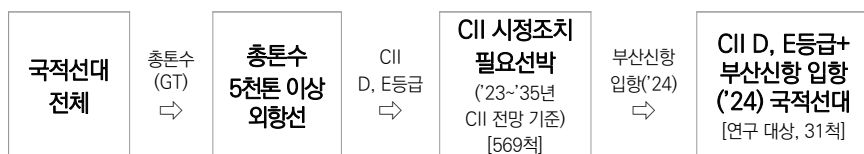
자료: 저자 작성

시정조치가 필요하다고 예상되는 선박들의 선종은 벌크선이 197척으로 가장 많고, 탱커 43척, 컨테이너선 33척, 일반화물선 14척, 가스운반선 13척, LNG운반선 3척, 로로(RO-RO) 화물·자동차운반선 13척이다. 시정조치가 불필요하다고 예상되는 선박들의 선종은 탱커가 27척으로 가장 많고, 컨테이너선 17척, 벌크선 13척, 가스운반선 5척, LNG운반선 4척, 냉동화물선 3척, 일반화물선 2척이다.

3. 연구 대상 추출

본 연구는 연구 대상을 선정하기 위해 국적선대 전체에서 총톤수 5천 톤 이상 외항선들을 먼저 분류하였다. 총톤수 5천 톤 선박들의 CII 등급 예측 결과를 바탕으로 2035년까지 약 10년 동안 D등급 연속 3번 또는 E등급 1번으로 시정조치가 요구되는 선박 569척을 분류하였다. 이후, 선박별 접안 대기시간을 파악하고자 정기적인 항로를 따라 항해하는 정기선을 고려하면 항만별 평균 대기시간을 파악할 수 있기 때문에 대표적인 정기선인 컨테이너선으로 선종을 고정하고 통항량(입출항), 물동량, 화물 처리량이 많은³⁵⁾ 부산신항(〈그림 3-9〉, 〈그림 3-10〉 참조) 입출항 선박으로써 연구 대상을 추출하였다.

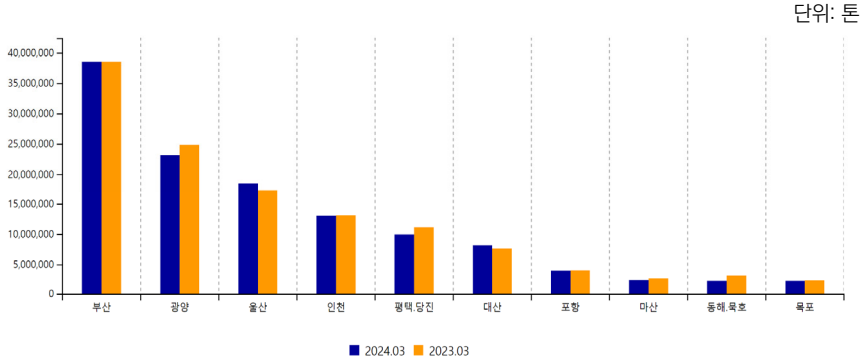
〈그림 3-9〉 연구 대상 추출 과정



자료: 저자 작성

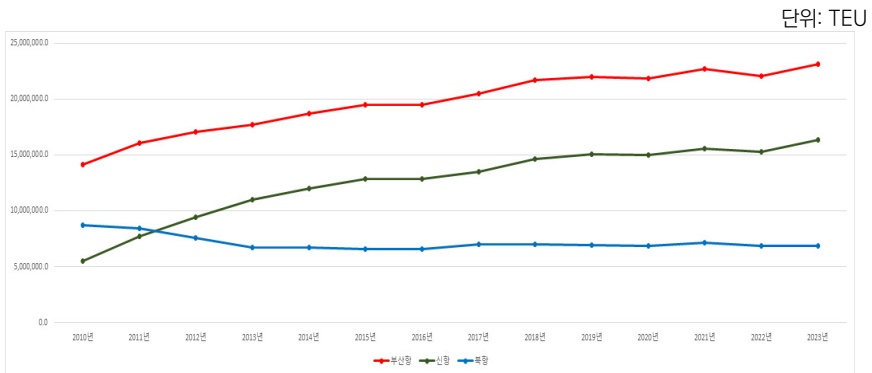
35) 2011년까지 북항이 신항보다 더 많은 컨테이너를 처리했으나, 신항의 화물 처리량은 2012년 북항 대비 약 1.2배에서 2023년 약 2.4배까지 증가함

〈그림 3-10〉 국내 항만별 물동량 비교



자료: 국토교통부 국가물류통합정보센터 홈페이지(검색일: 2024.5.17.)

〈그림 3-11〉 부산신항 컨테이너 처리실적



자료: 부산신항만공사 홈페이지(검색일: 2024.5.17.)

그에 따라 1차로 추출된 선박 중 2024년 부산신항 컨테이너 터미널에 접안 선박으로 2차 추출하여 총 31척의 컨테이너선을 연구 대상(〈표 3-5〉 참조)으로 결정하였다. 연구 대상은 파나마, 마셜제도, 라이베리아 기국의 편의치적선 8척을 포함하고 있고, 선령은 5년 이하부터 25년 이상까지 골고루 편성되어 있다.

〈표 3-5〉 연구 대상의 CII 등급 전망(’23~’35)

선박	선명 (번호)	선종	기국	총톤수(GT)	재화중량톤수 (DWT)	'22년 CII 달성값	CII 등급 전망													
							23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
A	20	컨테이너선	파나마	54519	65023	8.998474399	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E
B	16	컨테이너선	마셜제도	72597	72982	9.156594586	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
C	16	컨테이너선	라이베리아	40029	50162	9.860797273	C	C	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E
D	15	컨테이너선	마셜제도	9520	12839	17.65685185	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E	E	E
E	13	컨테이너선	파나마	9742	11891	20.29537416	C	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E
F	11	컨테이너선	파나마	9599	11820	20.46985566	C	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
G	4	컨테이너선	라이베리아	152003	160927	4.599427675	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D
H	4	컨테이너선	마셜제도	9944	13288	15.86696838	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D
I	16	컨테이너선	우리나라	72597	26918	23.94673696	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
J	16	컨테이너선	우리나라	72634	72982	9.091027093	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
K	22	컨테이너선	우리나라	7406	9618.27	19.31363263	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E
L	19	컨테이너선	우리나라	74962	80855	8.204372198	D	D	D	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
M	15	컨테이너선	우리나라	40741	52316	8.262909861	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	E	E
N	16	컨테이너선	우리나라	40839	51314	9.279412664	C	C	C	C	C	D	D	E	E	E	E	E	E	E
O	9	컨테이너선	우리나라	9955	12402	17.16187087	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	C	D	D	E
P	20	컨테이너선	우리나라	28927	39276	9.389112939	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D
Q	17	컨테이너선	우리나라	40898	51752.8	9.07376826	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	E	E	E	E
R	17	컨테이너선	우리나라	40898	51701.1	8.64896082	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	E	E
S	17	컨테이너선	우리나라	53100	31099	16.16775973	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
T	17	컨테이너선	우리나라	53100	63071	7.374232651	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D
U	11	컨테이너선	우리나라	142620	146046	5.306167401	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E	E
V	11	컨테이너선	우리나라	142620	146046	5.150066496	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	E	E	E
W	20	컨테이너선	우리나라	7447	8213	23.35423702	C	C	C	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E
X	17	컨테이너선	우리나라	40898	51750	9.000006739	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	E	E	E	E
Y	8	컨테이너선	우리나라	18606	21810	12.69580517	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E
Z	16	컨테이너선	우리나라	73780	85523	6.525108818	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E
AA	20	컨테이너선	우리나라	7447	8218	22.94580721	C	C	C	C	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E
AB	20	컨테이너선	우리나라	7447	8283	21.69293784	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	E	E	E	E
AC	26	컨테이너선	우리나라	6490	8662	19.19370435	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D
AD	23	컨테이너선	우리나라	7683	10728	17.44449658	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D
AE	18	컨테이너선	우리나라	75488	80855	8.382434343	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

자료: 저자 작성

제3절 소결 및 시사점

제3장에서는 IMO 최초 운항적 규제인 CII의 달성값 및 기준값에 따른 등급 산정 방식에 따라 국적선대의 CII 등급 변화를 예측하였다. 그에 따라 국적선과 BBCHP 선박들의 연간 등급별 선박과 '23년, '30년, '35년 시점별 CII 규제에 따른 시정조치계획 수립이 필요한 선박 수를 확인하였다. 국적선과 BBCHP 모두 2023년 대비 2035년 시점에서 D, E 등급에 해당하는 선박이 3배 이상 증가되었다. 비율적으로만 보았을 때 A, B, C등급의 BBCHP 선박 비중은 국적선보다 더 많이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 2035년 시정조치계획 수립이 필요한 선박은 국적선 68.8%, BBCHP 82.11%로서 국적선과 BBCHP의 선박 수가 44척 차이임을 감안하더라도 BBCHP 선박들의 CII 대응이 더 요구된다는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 본 연구는 국적선과 BBCHP 선박을 시정조치계획 수립 필요 유무를 기준으로 나누고 선령과 선종을 비교해보았다. 우선, 시정조치계획 수립 필요 유무와 관계없이 국적선은 선령 5년 미만의 선박이 없었고 선령 30년 이상의 선박 21척이 있었다. 그에 반해 BBCHP 선박은 선령 5년 미만의 선박이 51척 있었고 선령 30년 이상 선박이 없어 국적선보다 최신 건조된 선박으로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 더불어 국적선의 경우 시정조치계획 수립이 필요한 선박 중 정부 정책³⁶⁾에서 노후선으로 고려되는 선령 기준인 25년 이상에 해당하는 선박은 약 20.5%에 해당되었다. 그리고 CII 등급 A, B, C로서 시정조치가 불필요한 선박임에도 불구하고 선령 25년 이상 선박의 비중이 약 30.9%임을 확인하였다. BBCHP 역시 시정조치가 필요하다고 예상되는 선박의 약 94%가 선령 20년 미만의 선박이었다. 이러한 비교 결과에 따르면 고선령 선박이 운항적 효율이 낮다거나 10년 이

36) 「국제해운 탈탄소화 추진전략」은 선령 25년 이상을 친환경 선박 대체 건조 필요한 기준으로 분석함

하³⁷⁾의 비교적 저선령 선박이 운항적 효율이 높다고 말하기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

선종 비교는 국적선대 자체가 선종별 선박 수에서 모두 동일하지 않다는 점을 고려해야 한다. 하지만, 국적선과 BBCHP에서 확인된 공통적인 사항은 다수의 벌크선과 로로(RO-RO) 화물·자동차운반선은 시정조치계획 수립이 필요하다는 것이다. 국적선에서 벌크선과 로로(RO-RO) 화물·자동차운반선은 각각 1척을 제외한 나머지 모두 시정조치가 요구되었고, BBCHP에서 벌크선 약 93.8%와 로로(RO-RO) 화물·자동차운반선 전체가 시정조치가 필요하다고 확인되었다.

본 연구의 방법론과 연구 목적상 CII 등급 기반의 시정조치 필요에 대한 결과와 선령 또는 선종 간 상관관계에 대해 정량 또는 정성적인 확인에는 한계가 있다. 이는 본 연구와 연계된 향후 과제로 진행해볼 수 있을 것이다. 연구 대상은 CII 시정조치가 요구되는 국적선대로 구성함으로써 본 연구의 목적을 달성하고 국내항의 개선사항을 도출할 수 있으며, 본 장 이후에는 연구 대상의 선박들을 대상으로 AIS 정보를 통한 대기시간, 항해거리, 항해시간, 최적선속, CII 등급 개선효과 등 분석을 진행하고자 한다. 그럼에도 불구하고 연구 대상이 국적선대가 입항하는 국내항 전체를 반영하지 못하고 컨테이너선으로 구성되었다는 한계점은 남아있다.

37) 2022년 기준 국적선 자료에서 5년 미만 선령의 선박은 없었음

04

접안 대기시간 감소에 따른 CE 등급 개선효과

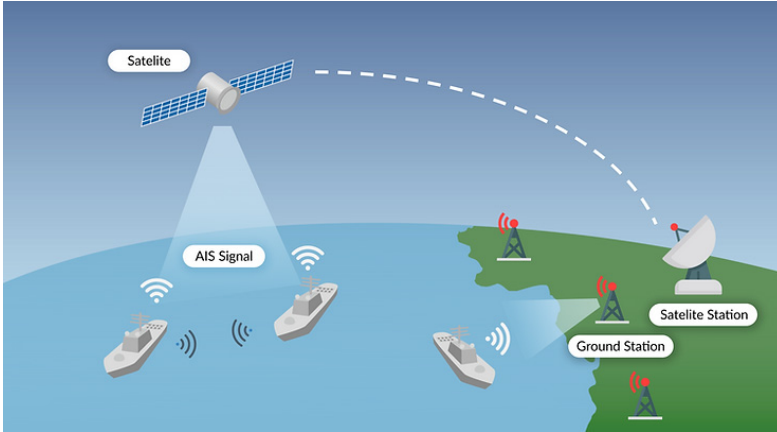
선박자동식별시스템(AIS: Automatic Identification System, 이하 AIS)은 선박의 운항정보(선박위치, 제원 등)를 선박 상호 간 또는 선박과 육상 간 자동으로 송수신하는 장치이다. IMO는 선박의 항해안전 및 보안 강화를 위해 채택한 국제협약 의무사항으로 총톤수 300톤 초과 선박은 AIS 트랜스폰더(transponder)를 설치하도록 규정한다. 이러한 AIS는 그 정보의 특징으로 인해 해양사고 발생에 따른 수색 및 구조지원, 해상교통 관제시스템(VTS: Vessel Traffic Service System) 보조수단, 연안 해역 선박운항모니터링 등에 활용된다.³⁸⁾ 2023년 6월 기준 국내 연안 해역에는 총 44개 기지국³⁹⁾이 있으며 기지국으로부터 통신권(약 50 항해마일, 92km) 내 AIS 신호를 수신하여 운영국으로 전송한다. 거리적 제한이 있어 내륙으로부터 멀리 있는 선박의 AIS 정보를 파악하기 어렵기 때문에 위성을 활용한 AIS 정보를 수신할 수도 있다.⁴⁰⁾ 본 연구에서 위성을 통한 AIS 정보 확보는 한계가 있기 때문에 육상기반 AIS 정보를 확보하여 연구 대상 선박들의 대기시간, 항해거리, 항해시간 계산에 활용하였다.

38) 해양수산부(2020.3.2.)

39) 해양수산부 41개소, 해양경찰청 3개소 구축 운영 중(자료: 해양수산부(2023.6.8.))

40) spire(검색일: 2024.5.21.)

〈그림 4-1〉 AIS 정보 송수신



자료: SeaVantage 홈페이지(검색일: 2024.5.21.)

제1절 연구 대상의 접안 대기시간 분석

선박들의 CII는 연 기준이기 때문에 대기시간 역시 연간 항해에서 기항지 접안 대기시간 고려가 필요하다. 그에 앞서 본 연구는 부산신항을 기준으로 최초 계획한 접안 예정시간에 대비하여 실제 접안시간이 얼마나 차이가 있는지를 살펴 선박-항만 간 도착 정보 공유 필요성을 확인하였다.

1. 부산신항 최초 접안 예정시간 및 실제 접안시간 비교

선박은 해상 운송수단이라는 목적에 맞게 목적항 부근에 도착해 부두에 정박해야만 여객 승하선과 화물 하역작업을 할 수 있다. 그러나 선석이 한정된 항만에 정박하려는 선박이 많은 관계로 지정된 선석에 정박할 수 있

을 때까지 기다리게 된다. 이러한 과정으로 인해 항만은 내항(inner harbor)과 외항(outer harbor)로 구분되며 외항에서 대기하다가 정박할 차례가 된 선박만 내항에 진입하게 된다. 따라서 항만 혼잡도, 기상, 계획된 선석을 먼저 점유하고 있는 선박 내 예기치 못한 상황 또는 인적 오류 등 다양한 변수로 실제 내항 진입시간(ATA: Actual Time of Arrival, 이하 ATA) 및 실제 부두 접안시간(ATB: Actual Time of Berthing, 이하 ATB)은 본래의 항만과 선박이 알고 있던 입항 예정 시간(ETA: Estimated Time Arrival, 이하 ETA) 및 접안 예정시간(ETB: Estimated Time of Berthing, 이하 ETB)과 달라질 수 있다.

본 연구는 제3장에서 도출한 연구 대상 선박 31척을 대상으로 2월 29일부터 6월 30일(약 4개월)까지 부산신항⁴¹⁾ 입항계획 데이터를 입항일 기준 1주~4주 전부터 매일 추적하여 입항 계획의 변동 현황을 파악하였고, <그림 4-2>와 <표 4-1>에 나타났다. <표 4-1>에는 연구 대상을 대상으로 추적한 데이터 중 입항 8차까지의 정보를 나타내었지만, 한 항차의 기간이 길지 않아 부산신항에 자주 입항하는 7척의 선박들은 8차 이상의 대기시간을 고려해 평균 대기시간을 명시하였다. 또한, <그림 4-2>는 각 선박의 모든 항차의 입항 지연시간을 평균으로 나타났다.

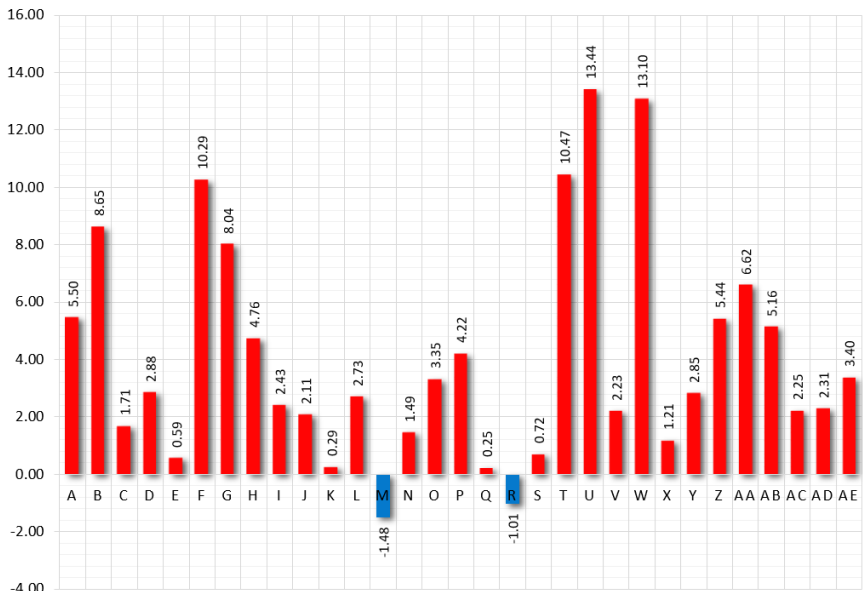
데이터 추적기간 동안 31척의 평균 입항 횟수와 총 입항 횟수는 각각 5.2회, 161회로 나타났으며, 부산신항에 가장 많이 입항한 선박의 입항 횟수는 13회였다. ETB에 비해 더 빨리 접안한 경우는 총 20회이며, 입항 지연시간이 1일 이하인 경우는 49회로 나타났다. 더불어 최초 ETB보다 ATB가 가장 많이 지연된 W 선박의 경우 28일까지 계획된 일정이 미루어진 것을 확인할 수 있었다. 선박당 부산신항의 최초 ETB와 ATB의 평균적인 차이는 4일 1시간 32.39분으로 분석되었다.

41) 부산신항국제터미널(PNIT), 부산신항만터미널(PNC), 한진부산컨테이너터미널(HJNC), HMM PSA 터미널(HPNT), 부산컨테이너터미널(BCT) 등

항만은 선사로부터 선박의 입항 정보를 ETA 기준 약 3주 전에 전달받는 것으로 파악하였으며, 항로, 선속 등 항해 계획과 항만 체선 상황으로 인해 ETB는 실시간으로 변경되었다. 따라서 최초 ETB와 ATB 간의 시간 차이를 대기시간으로 보기는 어려우나, 계획과 실제 시간의 차이가 커질수록 ETB의 불확실성이 높고 예측 정확도가 떨어진다는 의미이기 때문에 평균 4일간의 차이를 좁히기 위한 원인 분석 등에 주목해야 할 것이다.

〈그림 4-2〉 선박별 최초 ETB와 ATB 간 평균 시차

단위 : 일(Day)



자료 : 저자 작성

〈표 4-1〉 연구 대상 선박들의 부산신항 최초 접안 예정시간(ETB) 및 실제 접안시간(ATB) 간 비교('23.2.29.~6.30.)

선박	부산신항 접안 시간('23.2월~6월)																		Σ(ATB-ETB)/n
	1차		2차		3차		4차		5차		6차		7차		8차 ...n차				
	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB			
A	02-29 0:00	02-29 9:15	04-10 17:00	04-11 23:00	05-16 09:24	05-31 06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5월 11시간 57분		
	9시간 15분		1일 6시간 00분		14일 20시간 36분												8월 15시간 36분		
	04-09 10:00	04-17 17:12	05-11 9:00	05-20 9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
B	8월 7시간 12분		9일																
	03-28 7:00	03-29 5:00	04-08 15:00	04-11 16:10	05-09 19:00	05-10 00:55	05-20 15:00	05-24 19:00	06-20 19:00	06-20 23:00									
	22시간 00분		3일 1시간 10분		5시간 55분		4일 4시간		4시간								1일 17시간 01분		
C	04-08 03:00	04-11 11:00	04-29 19:00	05-01 23:00	05-19 17:00	05-23 13:00	06-12 19:00	06-14 23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	2일 21시간		
	3일 8시간 00분		2일 4시간 00분		3일 20시간		2일 4시간												
	03-20 02:00	03-20 10:00	04-03 23:00	04-04 03:00	04-18 00:00	04-18 14:00	05-02 04:00	05-03 05:00	05-17 03:00	05-17 21:00	06-27 04:00	06-27 20:00	-	-	-	-	14시간 10분		
D	8시간 00분		4시간 00분		14시간 00분		1시간 00분		18시간 00분		16시간						10일 6시간 51분		
	04-16 06:00	04-16 15:00	04-23 12:00	04-29 18:00	04-30 12:00	05-14 23:00	05-07 12:00	05-26 18:00	05-20 16:00	06-06 07:00	06-16 19:00	06-28 05:00	06-27 19:00	06-27 10:00	-				
	0일 9시간 00분		6일 6시간 00분		14일 11시간		19일 6시간		16일 15시간		11일 10시간		3일 15시간						
E	05-04 12:00	05-12 13:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8일 1시간 00분		
	8월 1시간 00분																		

부산신항 점안 시간(23.2월~6월)																		$\Sigma(ATB-ETB)/n$
선박	1차		2차		3차		4차		5차		6차		7차		8차 ...n차			
	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB		
H	04-04 14:00	04-10 04:00	04-12 14:00	04-21 15:00	04-23 14:00	05-03 12:00	05-13 09:00	05-12 02:00	05-23 09:00	05-23 00:00	06-01 16:00	06-03 04:00	06-11 16:00	06-12 21:00	06-22 16:00	06-24 01:00	4월 18시간 30 분	
	5월 14시간 00분	9월 1시간 00분	9월 22시간 00분	-1월 7시간 00분	-1월 7시간 00분	9시간	-	-	-	-	1월 12시간	1월 5시간	1월 9시간	-	-	-		
I	05-09 6:00	05-11 16:24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2월 10시간 24 분	
	2월 10시간 24분	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
J	04-07 5:00	04-10 1:00	05-23 17:30	05-25 7:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2월 2시간 45분	
	2월 20시간 00분	1월 13시간 30분	1월 13시간 30분	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
K	04-06 18:00	04-07 00:00	04-13 18:00	04-13 20:00	04-20 18:00	04-21 02:00	04-27 18:00	04-27 20:00	05-04 18:00	05-04 18:00	05-11 18:00	05-11 17:00	05-18 18:00	05-18 13:00	05-25 18:00	05-26 02:00	0월 6시간 55분	
	0월 6시간 00분	0월 2시간 00분	0월 2시간 00분	0월 2시간 00분	0월 8시간 00분	0월 8시간 00분	0월 2시간 00분	0월 2시간 00분	0월 0시간 00분	0월 0시간 00분	-0월 1시간 00분	-0월 1시간 00분	-0월 5시간 00분	-0월 5시간 00분	0월 8시간	0월 8시간		
L	03-02 3:00	03-02 23:10	03-09 14:00	03-12 11:45	04-16 10:00	04-16 11:00	04-27 3:00	05-02 12:00	05-29 09:00	06-02 21:00	-	-	-	-	-	-	2월 17시간 35분	
	0월 20시간 10분	2월 21시간 45분	2월 21시간 45분	2월 21시간 45분	0월 1시간 00분	0월 1시간 00분	5월 9시간 00분	5월 9시간 00분	4월 12시간	4월 12시간	-	-	-	-	-	-		
M	04-25 19:00	04-26 14:00	05-06 15:00	04-26 23:10	06-06 19:00	06-07 16:45	06-17 15:00	06-18 01:00	06-18 19:00	06-18 22:00	-	-	-	-	-	-	-1월 11시간 37분	
	0월 19시간 00분	-9월 15시간 50분	-9월 15시간 50분	-9월 15시간 50분	0월 21시간 45분	0월 21시간 45분	0월 10시간	0월 10시간	0월 3시간	0월 3시간	-	-	-	-	-	-		
N	04-06 13:00	04-06 17:10	05-02 19:00	05-03 17:20	05-13 15:00	05-17 19:00	06-24 15:00	06-25 07:00	-	-	-	-	-	-	-	-	1월 11시간 41분	
	0월 4시간 10분	0월 22시간 20분	0월 22시간 20분	0월 22시간 20분	4월 4시간 00분	4월 4시간 00분	0월 16시간	0월 16시간	-	-	-	-	-	-	-	-		
O	04-06 19:00	04-10 20:00	04-20 08:00	04-22 07:00	05-03 10:00	05-07 17:00	05-18 10:00	05-23 06:00	06-03 13:00	06-05 12:00	06-17 09:00	06-20 09:00	-	-	-	-	3월 8시간 20분	
	4월 1시간 00분	1월 23시간 00분	1월 23시간 00분	1월 23시간 00분	4월 7시간 00분	4월 7시간 00분	4월 20시간	4월 20시간	1월 23시간	1월 23시간	3월	3월	-	-	-	-		

선박	부산신항 점안 시간(23.2월~6월)																		Σ(ATB-ETB)/n
	1차		2차		3차		4차		5차		6차		7차		8차 ...n차				
	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB			
P	04-24 20:00	04-27 02:00	05-23 18:00	05-29 10:00	06-26 01:00	06-30 19:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4월 5시간 20분	
	2월 6시간 00분		5월 16시간		4월 18시간														
	03-23 00:00	03-23 16:00	05-11 00:00	05-11 21:00	06-29 00:00	06-28 05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0월 6시간	
Q	0월 16시간 00분		0월 21시간 00분		0일 -19시간														
	04-17 17:00	04-15 11:00	05-21 00:00	05-20 01:00	06-17 02:00	06-17 06:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1월 20분	
	-2월 6시간 00분		-0월 23시간 00분		0일 4시간														
S	04-24 23:30	04-25 16:48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0월 17시간 18분	
	0월 17시간 18분																		
	05-04 9:00	05-14 20:12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10월 11시 간 12분	
T	10월 11시간 12분																		
	05-08 17:00	05-22 03:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13월 10시간 30분	
	13월 10시간 30분																		
U	05-10 10:00	05-12 15:24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2월 5시간 24분	
	2월 5시간 24분																		
	02-28 06:00	02-29 14:00	03-08 05:00	03-10 21:00	03-15 02:00	03-20 06:00	03-22 02:00	03-27 07:00	03-28 16:00	04-06 04:00	04-10 15:00	04-10 12:00	04-17 05:00	04-22 16:00	05-10 10:00	06-08 03:00			
W	1월 8시간 00분	2월 16시간 00분	3월 24시간 00분	4월 32시간 00분	5월 40시간 00분	6월 48시간 00분	7월 56시간 00분	8월 64시간 00분	9월 72시간 00분	10월 80시간 00분	11월 88시간 00분	12월 96시간 00분	1월 104시간 00분	2월 112시간 00분	3월 120시간 00분	4월 128시간 00분	5월 136시간 00분	13월 2시간 23분	
	00:00		00:00		00:00		00:00		00:00		00:00		00:00		00:00				

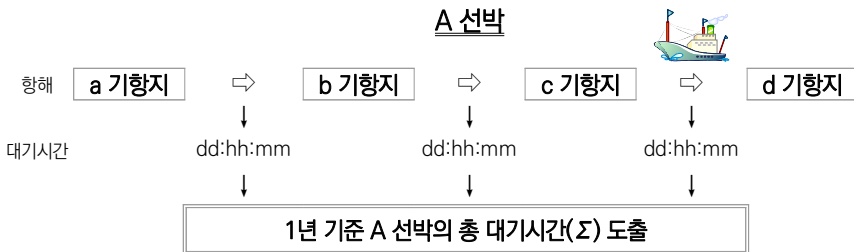
선박	부산신항 점안 시간(23.2월~6월)																		Σ(ATB-ETB)/n
	1차		2차		3차		4차		5차		6차		7차		8차 ...n차				
	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB	ETB	ATB			
X	02-28 06:00	02-28 09:00	03-25 07:00	03-29 03:00	04-23 13:00	04-24 17:00	05-26 18:00	05-27 01:00	06-23 19:00	06-24 10:00	-	-	-	-	-	-	1일 5시간		
	0일 3시간 00분		3일 20시간 00분		1일 4시간 00분		0일 7시간		0일 15시간		-	-	-	-	-	-			
	04-10 23:00	04-12 15:00	05-01 2:30	05-05 15:18	05-23 23:30	05-27 13:30	06-17 2:00	06-18 17:18	-	-	-	-	-	-	-	-	2일 20시간 31분		
Y	1일 16시간 00분		4일 12시간 48분		3일 14시간		1일 15시간 18분		-	-	-	-	-	-	-	-	5일 10시간 40분		
	04-06 00:00	04-11 20:10	05-25 00:00	05-30 01:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	5일 20시간 10분		5일 1시간 10분		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
AA	03-03 06:00	03-04 02:00	03-10 06:00	03-23 13:00	03-17 06:00	04-01 06:00	03-25 06:00	04-07 21:00	03-31 06:00	04-14 13:00	04-21 06:00	04-28 20:00	04-28 06:00	04-28 23:00	05-05 06:00	05-05 01:00	6일 14시간 51분		
	0일 20시간 00분		13일 7시간 00분		15일 0시간 00분		13일 15시간 00분		14일 7시간 00분		0일 14시간 00분	05-25 18:00	06-03 11:00	06-11 02:00	06-18 07:00	06-17 04:00			
	04-04 10:00	04-04 13:00	04-14 23:00	04-15 16:00	04-28 23:00	05-13 09:00	05-11 20:00	05-20 17:00	05-17 09:00	05-28 10:00	06-03 11:00	06-11 02:00	06-11 02:00	06-11 02:00	06-18 07:00	06-17 04:00	5일 3시간 54분		
AB	0일 3시간 00분		0일 17시간 00분		14일 10시간 00분		8일 21시간		11일 1시간		8일 17시간	10일 19시간	10일 19시간	05-19 05:20	05-26 02:00	05-28 00:00	2일 6시간		
	04-03 18:00	04-03 20:00	04-10 08:00	04-14 21:00	04-18 07:00	04-21 13:00	04-21 02:00	04-28 23:00	04-28 02:00	05-04 17:00	05-12 16:00	05-12 17:00	05-19 02:00	05-19 11:00	05-26 02:00	05-28 00:00			
	0일 2시간 00분		4일 13시간 00분		3일 6시간 00분		7일 21시간 00분		6일 15시간 00분		0일 1시간 00분	05-12 08:00	05-19 07:00	05-19 08:00	05-26 08:00	06-02 02:00	2일 7시간 30분		
AD	04-07 08:00	04-07 03:00	04-14 08:00	04-14 02:00	04-21 08:00	04-21 03:00	04-28 03:00	04-28 03:00	05-05 08:00	05-12 17:00	05-12 08:00	05-19 07:00	05-19 08:00	05-19 09:00	05-26 08:00	06-02 02:00	2일 7시간 30분		
	-0일 5시간 00분		-0일 6시간 00분		-0일 5시간 00분		-0일 5시간 00분		7일 9시간 00분		6일 23시간 00분	6일 23시간 00분	6일 23시간 00분	7일 1시간	6일 18시간	6일 18시간			
	04-23 20:00	04-24 19:06	06-08 00:00	06-13 20:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3일 9시간 33분		
AE	0일 23시간 06분		5일 20시간		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

자료: 저자 작성

2. 연간 접안 대기시간 도출

본 연구는 연간 평균 항만 접안 대기시간 도출을 위해 연구 대상 선박들의 1년 AIS 정보를 바탕으로 부산신항을 포함해 국내외 기항지를 모두 고려해 총 접안 대기시간을 파악하였다. CII 등급은 연간 운항정보를 바탕으로 도출되기 때문에 본 연구의 목적인 대기시간 감소에 따른 CII 등급 개선 효과를 파악하는 과정에서 2023년 연간 AIS 정보를 바탕으로 분석하였다. 2022년을 기준으로 CII 등급을 예측하였기에 2022년 대기시간을 추출하고자 하였으나, 본 연구에서 활용한 marinetransport社 자료는 조회 시점으로부터 1년간의 AIS 정보를 확인할 수 있기에 연구 대상들의 대기시간은 2023년 데이터를 활용하였다는 점이 한계점으로 작용한다.

〈그림 4-3〉 연구 대상 선박의 항로 기준 접안 대기시간 도출 과정



자료: 저자 작성

본 연구는 선박의 운항 상태를 판단하기 위하여 marinetransport社의 실시간 위치, 속력, 침로 등 8가지의 AIS 정보를 활용하였다. 표준정기보고서(standard periodic reports)는 매일 특정 순간에 선박에 대한 위치를 보고하는 알림으로 자정 보고, 정보 보고 등이 있다. 항만 관련 사항(port related events)은 현재 또는 향후 항구 호출에 대한 알림을 나타내어 항만 도착, 항만 출발, 정박 등을 포함한다. 영역 관련 사항(area related

events)은 특정 또는 사용자 정의 지역에 대한 선박의 항해 정보를 업데이트하는 알림이다. 이 알림을 위하여 정의된 해협 및 항로는 102곳이며 진입, 횡단, 진출에 대한 정보를 가지고 있다. 선박 이동 상황 갱신(vessel movement status updates)은 대상 선박의 이동 상태가 변경되는 순간의 세부 사항을 보고하는 알림으로 속도 범위, 침로변경, 정지 등을 나타낸다. 선박 AIS 정보 갱신은 AIS 트랜스폰더를 탑재한 선박의 자동 또는 수동 수신 정보 중 승무원이 전송하는 수동 정보에 대한 업데이트 알림이다. ETA, 홀수, 목적지, 상태 등의 변경 사항이 업데이트되며, 상태는 약 16가지로 구분할 수 있다. MarineTraffic社의 AIS 관련 사항은 수신되는 모든 AIS 정보를 실시간 지도에 제공하기 위하여 육상, AIS 범위에 대한 AIS 적용 범위 발생 알림을 나타낸다. 선박 간 작업에 대한 알림은 대상 선박과 예인선, 도선, 병커링, 타선 간의 거리에 따라 업데이트되는 알림이다. 특이사항은 운항지역의 풍속이 정의한 값보다 크거나 시간대가 변경되는 등 기타 사항을 나타낸다.

〈표 4-2〉 알림 유형 정의

알림 유형	내용
표준정기보고서 (Standard Periodic Reports)	• 자정 위치, 정오 위치 • Inmarsat-C 위치 수신 • Inmarsat-C 터미널 상태 점검
항만 관련 사항 (Port Related Events)	• 도착 및 출발 • 예상도착시각 • 계류 및 계류 해제 • 도착 지연 위험
영역 관련 사항 (Area Related Events)	• 관심 구역 진입 및 이탈 • 지정 구역 통과, 해협/항로 통과 • 영역 도착 예정 시간
선박 이동 상태 갱신 (Vessel Movement Status Updates)	• 최저 속도 이하 및 이상, 정지 • 항해 중, 항로 변경, 조종 • 표류, 닻 끌림

알림 유형	내용
선박 AIS 데이터 갱신 (Vessel AIS-Data Updates)	• AIS 신호 변경 • AIS 목적지 변경, AIS 예상 도착시각 변경 • AIS 흘수 변경
MarineTraffic社 AIS망 관련 사항	• 육상 범위 내, 육상 범위 밖 • 전역 AIS 범위 내, 전역 AIS 범위 밖
선박 간 작업 (Vessel-to-Vessel Proximity Events)	• 예인선 및 도선사 작업 • 연료 공급 • 선박 간 근접, 화물 이전 • 충돌 위험
특이사항 (Special Events)	• 강풍 항해, AIS 미탐지 또는 꺼짐

자료: Marinetrtraffic 내용을 기반으로 저자 작성

AIS 데이터의 운항 상태는 <표 4-3>와 같이 분류하였다. ‘항해’ 종료는 ‘정박’ 또는 ‘계류’ 형태로 나타나는데, ‘정박’은 항만 인근 대기 시작 시점부터 항만 인근 대기 종료 시점까지 해당한다. 그러나 <그림 4-4>의 선박 운항 주기와 같이 운항 상태 구분에서 정박의 종료 기준인 항만 인근 대기가 종료된 이후 다시 인근 정박지에서 항만 대기가 발생한 것을 확인하였다. 대기 종료 후 접안하게 되며 계류하고 이안이 종료되기까지 항만 안벽에 고정된 상태이기 때문에 이접안 시간에 포함된다.

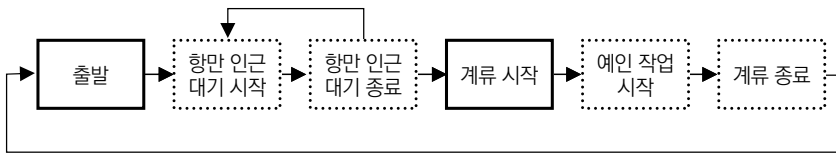
<표 4-3> 운항 상태 구분 기준

운항 상태	기준	내용(event)	비고
항해	시작	• 기항지에서 출발 • 항만 인근 대기 종료	
	종료	• 항만 인근 대기 • 계류 시작	
정박	시작	• 항만 인근 대기	본 연구의 대기시간
	종료	• 항만 인근 대기 종료	

운항 상태	기준	내용(event)	비고
접안	시작	• 항만 인근 대기 종료	선석에 위치한 상태
	종료	• 계류 시작	
계류	시작	• 계류 시작	
	종료	• 계류 종료 • 예인 작업 시작	
이안	시작	• 예인 작업 시작 • 계류 종료	
	종료	• 기항지에서 출발	

자료: 저자 작성

〈그림 4-4〉 선박의 운항 주기



자료: 저자 작성

주: 실선은 필수적, 점선은 선택적으로 발생하는 사항임

본 연구는 〈표 4-3〉의 항만 이접안을 위해 정박한 시간들의 연간 총합을 연구 대상의 대기시간으로 추출하였다. 구체적으로는 본 연구에서 활용한 선박들의 1년 치 AIS 데이터에서 기항지 도착 전 정박지(Anchorage) 또는 OPL에서 선속이 거의 없고⁴²⁾ 주기관이 정지된 상태를 고려해 대기시간으로 간주하였다. 그에 따라 선박들의 항로, 기항지 및 연간 대기시간은 〈표 4-4〉와 같이 추출되었다.

42) 선속 10노트 이하

<표 4-4> 연구 대상 선박들의 연간 주요 기항지 및 기항지별 대기시간

선박	항로	주요 기항지	연간 총 대기시간 [dd:hh:mm]
A	극동지역- 인도 지중해	부산신항-광양-상해-닝보-쑤코우-쿨랑-나바 쉼바-문드라-카라치	30:04:38
B	극동지역-라틴 아메리카 동부	부산신항-상해-닝보-심천-싱가포르-캐투팔리-산토스-파라나과-이타포아-나베간테스-부에노스아이레스-몬테비데오-싱가포르-홍콩	53:13:30
C	아시아- 미국 서부	부산신항-옌텐-닝보-상해-시애틀-프레이지강	25:04:02
D	동북아시아 (한-중-일)	부산신항-울산-광양-톈진-다롄-부산-니시-토마코마이-무로란-칭다오-사카타-아키타-하카타-히타치나카-센다이-하지노해	09:19:37
E	동북아시아 (한-중-일)	부산신항-톈진-다롄-포항-부산-나오예츠-토야마신-니가타-울산-나오예츠-	23:15:42
F	동북아시아 (한-일)	부산신항-이시카리-토마코마이-아키타-부산-이시카리-쓰루가-오타루	26:06:12
G	아시아-북유럽	부산신항-상해-옌텐-콜롬보-알헤시라스-로테르담-마스클라크테-함부르크-앤티워프-뎀즈	21:21:44
H	동북아시아 (한-일)	부산신항-시미즈-가시마-히타치나카-센다이-하지노해-토마코마이-사카미미나토-사카타-마이즈루-부산-광양-요코하마-나고야-광양	15:04:53
I	극동지역- 인도 지중해	부산신항-광양-상해-닝보-가오슝-쑤코우-싱가포르-쿨랑-캐투팔리-나바 쉼바-하지라-문드라-가라치-심천-다찬만-콜롬보-산토스	20:00:38
J	아시아- 오세아니아	부산신항-칭다오-상해-닝보-옌텐-보타니-멜버른-브리즈번	23:07:44
K	동북아시아 (한-일)	부산신항-광양-부산-오사카-고베-울산	16:08:11
L	아시아- 미국 서부	부산신항-광양-칭다오-상해-닝보-롱비치-포틀랜드	24:15:32
M	아시아- 미국 서부	부산신항-옌텐-닝보-상해-프레이지 강-시애틀-스티브스턴	30:12:37
N	아시아- 미국 서부	부산신항-옌텐-닝보-상해-프레이지 강-시애틀	34:11:46

선박	항로	주요 기항지	연간 총 대기시간 [dd:hh:mm]
O	동북아시아 (한-일)	부산신항-하카타-가나자와-니시-토마코마이- 부산-무로란-이시카리-아키타-토마코마이-	34:19:32
P	극동지역- 인도 지중해	부산신항-인천-칭다오-상해-홍콩-포르투갈-파 시르구당-홍콩-치완	28:06:17
Q	극동지역- 인도 지중해	부산신항-인천-톈진-대련-부산-싱가포르-자카 르타	11:08:21
R	극동지역- 인도 지중해	부산신항-홍콩-싱가포르-자카르타-수라바야- 광양-울산-부산	08:16:01
S	극동지역- 인도 지중해	부산신항-광양-상해-닝보-선전-서커우-싱가포 르-포르투갈-카투팔리-나바 쉐바-하지라-문드 라-카라치	43:06:54
T	극동지역- 인도 지중해	부산신항-상해-닝보-선전-싱가포르-카투팔리- 산토스-파라나구아-나바간체스-부에노스아이레 스-몬테비데오	34:14:04
U	아시아-미국 동 부-라틴 아메리 카 동부	부산신항-파나마운하-만자녜로-뉴욕-노퍽-찰 스턴-사바나-만자녜로-가오슝-양티엔-상해-닝 보-싱가포르-피레우스	22:00:43
V	아시아-미국 동 부-라틴 아메리 카 동부	부산신항-파나마운하-만자녜로-뉴욕-노퍽-찰 스턴-사바나-만자녜로-가오슝-양티엔-상해-닝 보-양티엔-샤먼	42:05:15
W	동북아시아 (한-일)	부산신항-광양-하카타-모지-오이타-시부시-고 치-기타큐슈-광양-부산-사쓰마센다이-나가사 키-쿠마모토-야쓰시로-이마리	48:00:01
X	극동지역- 인도 지중해	부산신항-홍콩-싱가포르-자카르타-수라바야- 광양-울산-부산	13:06:44
Y	극동지역	부산신항-상해-닝보-호치민-시라차-인천	11:15:48
Z	극동지역- 인도 지중해	부산신항-닝보-치완-싱가포르-포르투갈-나바 쉐바-문드라-가라치-포르투갈-홍콩-칭다오-광 양	46:22:31
AA	동북아시아 (한-일)	부산신항-미시마-타카마츠-히로시마-이와쿠니 -호소시마-부산-오이타	63:12:29
AB	동북아시아 (한-일)	부산신항-사카이미나토-나가타-가나자와-마이 즈루-부산-옥계	38:08:21
AC	동북아시아 (한-일)	부산신항-부산-시부시-나가사키-쿠마모토-야 츠시로-사쓰마센다이-이마리	64:08:58

선박	항로	주요 기항지	연간 총 대기시간 [dd:hh:mm]
AD	동북아시아 (한-일)	부산신항-부산-하카타-도쿠야마 쿠다마츠-모지 -기타큐슈-모지	33:04:09
AE	극동지역- 인도 지중해	부산신항-닝보-치완-싱가포르-포트클랑-나바 쉐바-문드라-가라치-홍콩-칭다오-광양	36:06:55

자료: 저자 작성

연구 대상 선박들의 선종이 컨테이너선이자 정기선이기 때문에 특정 기항지에 대한 입항이 반복되는 운항 특성을 보였다. 아시아 내 동북아시아에서 동남아시아 구간을 항해하는 극동지역 항로 또는 한, 중, 일의 동북아시아 내 항로가 많았고, 그 밖에 동북아시아와 미국 또는 동북아시아와 라틴아메리카로 운항하고 있었다. 선박들은 평균적으로 연간 약 31일 8시간 동안 항만 접안을 위해 대기하는 것으로 확인하였다. 물론 항만의 환경과 체선 상황에 따라 거의 대기시간 없이 접안하는 항만도 있지만, 체선 및 체화가 심각해지고 있는⁴³⁾ 아시아 환적항인 중국 상해항과 말레이시아 포트클랑항의 경우 2~4일 정도 대기하는 것으로 확인하였다. 실제로 6월 말 시점에 전 세계적으로 224만 TEU의 컨테이너 선복량이 외항에서 대기하고 있는 것으로 밝혀졌다.⁴⁴⁾ 더불어 기항지 간 항해거리가 짧고 기항지가 많아 입출항이 잦은 선박(W, AA, AC)들은 한국과 일본의 항만에 입항하는 700TEU 이하의 비교적 소형선박들이었다. AC 선박의 경우 연간 최대 64일으로써 평균 대비 2배의 시간을 접안 대기에 시간을 사용하고 있었다. 한편, 부산신항의 경우 앞서 살펴본 부산신항의 최초 ETB와 ATB의 차이는 평균 약 4일이 발생함을 확인하였으나, 최종 ETB 대비 ATB의 차이, 즉 실제 대기시간 평균은 15시간임을 확인하였다.

43) 한국해운신문(2024)(검색일: 2024.7.30.)

44) LINERLYTICA(검색일: 2024.7.30.)

제2절 대기시간 감소 시나리오별 선박 CII 등급 개선효과

본 절에서는 앞서 도출한 선박별 연간 대기시간 감소 비율에 따라 시나리오를 구성하고, 시나리오별 선박 CII 등급 개선효과를 분석하고자 한다. 본 연구가 착수된 2024년 초기에는 2023년 DCS 데이터가 검증되지 않은 상태이기 때문에 ① 2022년 DCS 데이터와 ② 2023년 AIS 데이터, 두 가지 데이터를 바탕으로 CII 등급 개선효과를 도출하고 비교하였다.

1. 시나리오별 선박 최적선속 도출

제1절 대기시간을 도출하는 과정에서 언급하였던 것처럼 선박이 항만 터미널 선석에 접안하지 못하고 정박지 또는 OPL에서 대기하는 데에는 다양한 원인이 있다. 본 연구는 기상악화 등 인력이 해결할 수 없는 변수를 제외하고 항만의 화물처리 상황, 선석별 접안 예정인 선박의 사유로 인한 입항 지연 등 항만에서 선박에 정보를 줄 수 있는 변수는 상호 유기적으로 정보를 공유함으로써 사전에 대기시간을 감소할 수 있다는 가정하에 항만 접안 대기시간 감축률 30%, 50%, 70%, 100%에 따른 최적선속 시나리오를 정의하였다.

〈표 4-5〉 최적선속 시나리오 정의

시나리오 기호	정의
선박 _{Base}	선박의 연간 항해거리 및 항해시간에 따른 평균 선속
선박 _{30%}	선박의 연간 대기시간 30% 감소한 경우 가능한 최적선속
선박 _{50%}	선박의 연간 대기시간 50% 감소한 경우 가능한 최적선속
선박 _{70%}	선박의 연간 대기시간 70% 감소한 경우 가능한 최적선속
선박 _{100%}	선박의 연간 대기시간 100% 감소한 경우 가능한 최적선속

자료: 저자 작성

1) 2022년 DCS 데이터 기준

IMO는 제70차 MEPC에서 선박 배출 온실가스 감소를 위한 추가적인 조치를 파악하기 위한 차원에서 개별 선박에 선박 연료유 소모량을 제출하도록 요청하는 IMO DCS 개념을 채택⁴⁵⁾하였다. 이는 2023년 이후 발효된 CII 계산에도 활용되고 있는데, 그 이유는 CII가 연간 항해를 기준으로 사용된 연료유를 고려하듯이 DCS 역시 연간 사용한 연료유 소모량을 제출하기 때문이다. DCS에는 선종, 총톤수, 재화중량톤수, 항해거리, 항해시간, 유종별 연료유 소모량 등이 포함되어 있다.

〈그림 4-5〉 DCS 데이터 요약자료 예시

APPENDIX 2

SAMPLE OF THE COLLECTED DATA SUMMARIES

Date and time from (dd/mm/yyyy, hh:mm UTC)	* Date and time to (dd/mm/yyyy, hh:mm UTC)	Distance travelled (n.m)	Hours under way (hh:mm)	**exceptional conditions specified in regulation 3.1 of MARPOL Annex VI (Y/N)	**Sailing in ice condition (Y/N)	**STS Operation (Y/N)	Fuel consumption (metric tons)					
							total mass	**mass to be deducted from the total				
								consumed production power (PC _{total})	for of boiler heating (discharge on tankers) (PC _{boiler})	consumed by oil-fired engine driven cargo pumps during discharge operations on tankers (PC _{engine})	consumed by standalone cargo pumps on tankers (PC _{standalone})	
01/01/2023 00:00	01/01/2023 13:20	150	13:20	N	N	N	***DOIGO ...	DOIGO ...	DOIGO ...	DOIGO ...	DOIGO ...	DOIGO ...
01/01/2023 13:20	01/01/2023 24:00	60	10:40	N	Y	N						
02/01/2023 00:00	02/01/2023 24:00	288	24:00	N	N	Y						
03/01/2023 00:00	03/01/2023 24:00	260	24:00	N	N	Y						
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****						
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****						
31/12/2023 00:00	31/12/2023 24:00	290	24:00	N	N	N						
Annual total												

자료: MEPC 78/17/Add.1

본 연구는 연구 대상 선박들의 2022년 DCS 데이터에 따른 항해거리와 항해시간을 고려한 선박의 평균 항해속도를 구하고, 이에 추가적으로 AIS 데이터 기반으로 도출한 연간 평균 대기시간을 항해시간에 포함함으로써 시나리오별 선속을 구하였다. 각 선박들의 대기시간을 ‘대기’가 아닌 ‘항해’에 할애함에 따라 선속을 더 늦출 수 있는데, 대기시간을 완전히 제거한 선박^{100%} 시나리오의 최적속도는 선박_{Base} 시나리오에 비해 평균적으로

45) IMO, MEPC.278.(70)

11.45% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 해상물류는 다양한 이해관계자가 연계되므로 접안 대기시간을 100% 제거하는 것은 현실적으로 불가능에 가깝다. 따라서 보수적으로 대기시간 30% 또는 50% 감소하는 것을 고려하였을 때, 각각의 선속은 평균 3.95%, 6.37% 감소되었다.

〈표 4-6〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 최적선속

단위: knots

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{100\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$
A	13.90	13.48	13.22	12.96	12.60	9.35%
B	14.93	14.00	13.45	12.93	12.23	18.08%
C	14.55	14.16	13.91	13.68	13.33	8.38%
D	13.29	13.01	12.82	12.65	12.39	6.77%
E	13.11	12.62	12.32	12.03	11.62	11.37%
F	12.45	11.99	11.71	11.44	11.05	11.24%
G	13.90	13.52	13.28	13.05	12.72	8.49%
H	10.34	10.15	10.03	9.92	9.75	5.71%
I	14.62	14.29	14.07	13.86	13.56	7.25%
J	15.41	14.98	14.70	14.43	14.05	8.83%
K	12.30	12.04	11.87	11.71	11.47	6.75%
L	14.73	14.17	13.81	13.48	13.01	11.68%
M	14.75	14.25	13.93	13.63	13.20	10.51%
N	12.81	12.40	12.14	11.89	11.53	9.99%
O	13.68	12.98	12.55	12.14	11.59	15.28%
P	14.24	13.74	13.43	13.13	12.70	10.81%
Q	13.28	13.10	12.98	12.87	12.70	4.37%
R	14.91	14.73	14.61	14.49	14.32	3.96%
S	15.25	14.54	14.10	13.69	13.11	14.03%
T	15.97	15.38	15.01	14.66	14.16	11.33%
U	15.74	15.30	15.02	14.75	14.36	8.77%
V	15.61	14.79	14.29	13.83	13.18	15.57%
W	10.66	9.88	9.41	8.99	8.43	20.92%
X	15.10	14.85	14.69	14.53	14.29	5.36%

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{100\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$
Y	15.06	14.84	14.70	14.57	14.37	4.58%
Z	14.45	13.70	13.24	12.81	12.21	15.50%
AA	10.52	9.50	8.92	8.41	7.74	26.43%
AB	11.21	10.59	10.21	9.86	9.38	16.32%
AC	12.28	10.79	9.99	9.29	8.41	31.51%
AD	10.08	9.54	9.21	8.91	8.48	15.87%
AE	10.56	10.25	10.05	9.86	9.59	9.19%

자료: 저자 작성

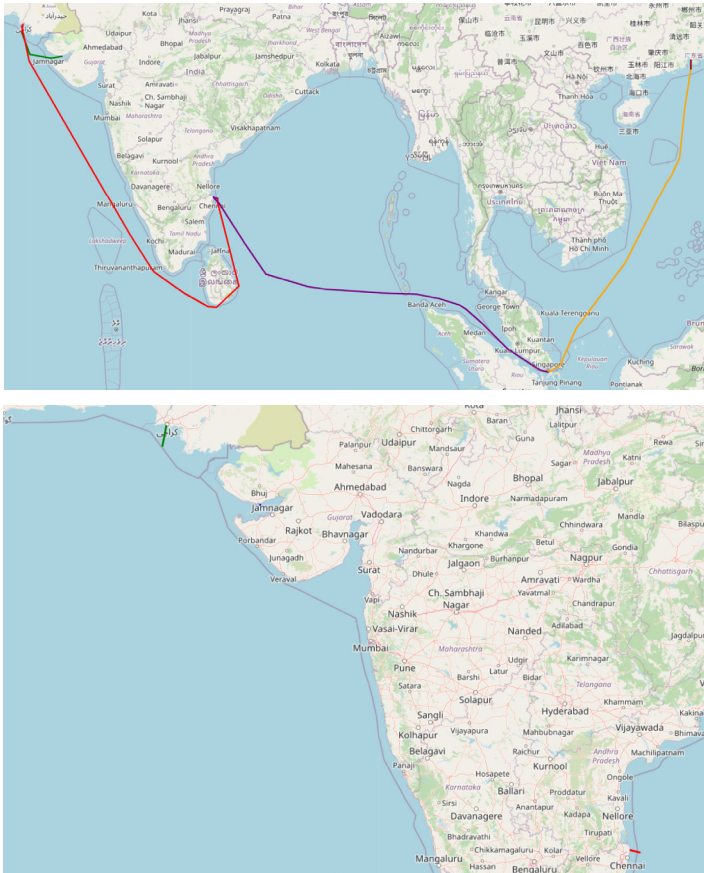
2) 2023년 AIS 데이터 기준

(1) 데이터 전처리 및 항로 모델링

선박의 최적선속 도출은 최적 항로에 따른 항해거리와 항해시간 파악이 우선적으로 수반되어야 한다. 그를 위해 선박 위치 정보에서 헵정 세계시 기준 시간 정보에 대한 결측치는 제거하였고, 결측치가 아닌 운항 상태(접안, 정박(앵카링), 도착, 출발 등)를 고려해 데이터 전처리를 수행하였다.

〈그림 4-6〉은 선박의 운항 정보를 분석하기 위하여 한 선박의 한 항차를 분석하여 가시화한 그림이다. 접안 및 이안 시 위경도 데이터는 표기되지 않아 제외하였다. 상단은 ‘항해’ 상태의 위경도, 데이터 하단은 ‘정박’ 상태의 위경도 데이터를 반영하였고 색상으로서 정박지 간 항해를 구분하였다.

〈그림 4-6〉 운항 상태에 따른 위치 가시화



자료: 저자 작성

(2) 항해시간 및 거리 산출

항해시간은 AIS 데이터 중 정박 및 이접안 시간을 제외한 것으로서 산출하였다. 그에 따라 항해거리는 운항 상태 중 ‘항해’ 상태로 정의한 위경도 데이터를 기반으로 산출하였는데, 위경도 데이터로 항해거리를 계산하기 위해서는 두 좌표 간의 거리를 계산해야 한다. 두 좌표 간 거리 계산을 위

한 대표적인 방법은 구면 코사인 법칙, 하버사인 공식, 벤센트리 공식이 있다.⁴⁶⁾ 구면 코사인 법칙은 구면 삼각형의 세변과 세 각의 관계로 각 변의 길이와 각을 구하는 간단하고 직관적인 방법이지만, 두 지점에 거리가 크거나 극에 가까울 때 오차가 발생할 가능성이 있다. 하버사인 공식은 구 형태의 지구를 가정하여 두 지점 간의 최단거리를 계산함으로써 상대적으로 높은 정확도를 가지나 연산이 복잡할 수 있다. 벤센트리 공식은 구 형태보다 더 정확한 지구 모델을 사용함으로써 하버사인 공식과 구면 코사인 법칙에 비해 더 정확한 결과를 제공하지만 본 연구에서 적용하기에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구는 계산의 정확성 및 시간을 고려하여 하버사인 공식을 채택하였으며, 두 점의 위도와 경도를 사용하여 표현한 하버사인 공식은 다음과 같다.

$$hav(\theta) = hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)hav(\lambda_2 - \lambda_1)$$

φ_1, λ_1 은 한 점에 대한 위도와 경도를 나타내고, φ_2, λ_2 은 나머지 점에 대한 위도와 경도를 나타낸다. 호의 길이인 d 를 구하기 위해 θ 를 $\text{archav}(hav(\theta))$ 로, $hav(\theta)$ 를 h 로 대입한 후 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d &= 2r \arcsin\left(\sqrt{hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos\varphi_1\cos\varphi_2 \cdot hav(\lambda_2 - \lambda_1)}\right) \\ &= 2r \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right) \end{aligned}$$

위 공식을 활용하면 경도 간의 거리를 구하여 선박별 총 항해거리를 계산할 수 있다. 정박 및 접안 상태를 event로 판단하여 항해 시작과 종료 시점을 구분한 후 위경도 간의 거리를 계산한 결과는 다음과 같다.

46) math doctors, Distance.to 참조(검색일: 2024.7.15.)

〈표 4-7〉 선박별 항해 정보

선박	항해거리(NM)	항해시간(분)	선박	항해거리(NM)	항해시간(분)
A	83674.3	5971.6	B	114162.1	6340.1
C	98636.5	6895.0	D	58359.4	5951.1
E	57887.7	5212.3	F	52800.0	4669.0
G	78435.2	6726.5	H	51325.3	6048.7
I	65209.3	6989.4	J	83482.6	6436.3
K	47260.9	5034.7	L	97169.4	6416.6
M	85088.4	6767.5	N	87896.7	6898.5
O	50150.5	4831.1	P	73512.0	5923.7
Q	108907.8	6767.1	R	84723.8	5968.0
S	79092.5	6459.1	T	98613.2	6666.1
U	89963.6	6767.5	V	68381.8	5651.8
W	31940.5	4809.8	X	85775.8	6173.0
Y	81535.0	6538.1	Z	81062.0	5553.9
AA	87334.5	4903.5	AB	46408.9	4640.6
AC	29258.2	4402.4	AD	29164.2	3970.7
AE	78508.7	6097.9			

자료: 저자 작성

(3) 시나리오별 최적선속

2023년 AIS 데이터를 통해 항로 모델링으로 항해시간 및 거리를 산출한 이후 시나리오별 최적선속 계산은 2022년 DCS 데이터 기반 시나리오별 최적선속을 구하는 방식과 동일하다. 다만, 항로 모델링 자체가 실제 해상 의 환경에서 일어날 수 있는 어떠한 영향도 없다는 이상적인 조건에 두 지 점 간 최단거리를 계산하였기 때문에 2022년 DCS 데이터 대비 속도가 떨어진다는 한계점이 있다. 특히, 일부 동북아시아(한-일) 운항 선박들은 2022년 DCS에서도 10노트의 선속을 보였는데, 2023년 AIS 데이터 기준 분석에서는 항로 모델링 과정에서 찾은 항해시간 대비 항해거리가 감소하여 10노트 이하 선속으로 도출되기도 하였다.

〈표 4-8〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 최적선속

단위: knots

	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}
A	11.7233	11.38	11.16	10.95	10.64
B	14.6284	13.94	13.52	13.12	12.56
C	13.0126	12.71	12.51	12.33	12.05
D	8.9528	8.86	8.79	8.73	8.64
E	9.0307	8.80	8.65	8.50	8.30
F	8.8896	8.62	8.44	8.28	8.04
G	10.5054	10.29	10.15	10.01	9.81
H	7.6087	7.49	7.41	7.33	7.22
I	8.4193	8.27	8.17	8.07	7.93
J	11.6838	11.42	11.24	11.08	10.84
K	7.9063	7.75	7.66	7.56	7.42
L	13.4772	13.15	12.95	12.75	12.46
M	11.2086	10.89	10.69	10.50	10.22
N	11.2287	10.88	10.66	10.45	10.15
O	8.3025	7.97	7.77	7.57	7.29
P	10.2963	10.01	9.83	9.65	9.40
Q	16.4296	16.25	16.13	16.01	15.84
R	13.2655	13.14	13.05	12.97	12.85
S	10.1196	9.73	9.49	9.26	8.93
T	12.5712	12.18	11.94	11.70	11.37
U	11.8773	11.63	11.48	11.32	11.10
V	8.7103	8.39	8.18	7.99	7.71
W	4.8458	4.60	4.46	4.32	4.12
X	12.8379	12.66	12.54	12.42	12.25
Y	11.2519	11.12	11.04	10.96	10.83
Z	11.0310	10.55	10.25	9.96	9.56
AA	14.7350	13.78	13.22	12.69	11.98
AB	7.5491	7.22	7.02	6.83	6.57
AC	4.0466	3.80	3.66	3.52	3.33
AD	5.4832	5.25	5.10	4.96	4.77
AE	10.8224	10.45	10.21	9.98	9.66

자료: 저자 작성

2. 최적선속에 따른 연료소모량 및 CO₂ 배출량 계산

1) 2022년 DCS 데이터 기준

앞서 언급한 것과 같이 DCS는 유종별 연료소모량을 선사가 직접 신고하기 때문에 하향식 방식(Bottom-Up)으로 신뢰성이 높다고 볼 수 있다. 2022년 DCS 데이터를 기준으로 선박들의 연료소모량 사용 현황을 살펴보면 HFO 79.79%, 경질유(LFO: Low Fuel Oil, 이하 LFO) 13.79%, 선박용 디젤유(MDO: Marine Diesel Oil, 이하 MDO) 및 선박용 경유(MGO: Marine Gas Oil, 이하 MGO) 6.43%의 비율로 사용하고 있었다.

선박_{Base}에서 소모된 연료소모량을 DCS를 통해 알 수 있으니 선속 감소에 따른 연료소모량은 전통적인 방식인 입방 법칙(cubic law)을 도입하였다. 입방 법칙은 선박의 연료소모량이 선속의 세제곱값에 근사하다는 전통적이고 지배적인 견해이며, 이용 가능한 과거 연료소모량 데이터가 충분하지 않은 상황에서 사용해왔다.⁴⁷⁾ 물론 저속 운항이 일반적인 운항방식으로 고려되고 있는 근래의 상황에서 연료소모량이 항해 속도에 비례한다는 일반적인 가정이 재평가되어야 한다는 연구⁴⁸⁾ 역시 도출되고 있지만, 본 연구에서는 선박별 사양 정보 또는 과거 연료소모량 추세에 대한 데이터가 충분하지 않기 때문에 입방 법칙을 차용해 시나리오별 연료소모량을 <표 4-9>와 같이 추정하였다. 더불어 유종별 연료소모량 추정치에 <표 3-9>의 배출계수를 적용하여 <표 4-10>과 같이 CO₂ 배출량을 추정하였다. 추정결과에 따라 기존 대기시간을 30% 감소한 경우 CO₂ 배출량은 평균 7.69% 감소하고, 대기시간을 50% 감소한 경우 평균 12.18%가 감소할 수 있다. 또한, 대기시간 70% 감소는 평균 16.26%가 감소하고, 대기시간 100% 감소 시 평균 21.74%가 감소할 수 있다.

47) Ryder and Chappell, 1980; Ronen, 2011; Wang and Meng, 2012

48) Lindstad et al., 2011; Faber et al., 2017; Comer et al., 2018; Leaper, 2019

<표 4-9> 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 연료소모량 추정값

단위: ton

선박	선박 _{Base} 연료소모량			선박 _{30%} 연료소모량			선박 _{50%} 연료소모량			선박 _{70%} 연료소모량			선박 _{100%} 연료소모량		
	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO
A	23.4	17872.89	208.33	22.0	16814.6	196.0	21.2	16160.5	188.4	20.4	15543.8	181.2	19.2	14682.9	171.1
B	15832.2	1954.65	809.03	13925.0	1719.2	711.6	12838.8	1585.1	656.1	11874.9	1466.1	606.8	10620.5	1311.2	542.7
C	13198.59	-	1988.9	12502.2	-	1884.0	12068.1	-	1818.5	11656.2	-	1756.5	11076.9	-	1669.2
D	-	2783.64	306.13	-	2665.9	293.2	-	2591.6	285.0	-	2520.3	277.2	-	2418.7	266.0
E	-	4289.55	134.87	-	3976.9	125.0	-	3787.1	119.1	-	3610.6	113.5	-	3368.1	105.9
F	4395.3	-	420.7	4080.4	-	390.6	3888.8	-	372.2	3710.5	-	355.2	3465.1	-	331.7
G	16749.28	1265.49	784.33	15859.9	1198.3	742.7	15305.8	1156.4	716.7	14780.2	1116.7	692.1	14041.2	1060.9	657.5
H	3823.48	-	386.55	3688.4	-	372.9	3602.3	-	364.2	3519.2	-	355.8	3399.8	-	343.7
I	15732.3	3004.79	473.39	15017.1	2888.2	451.9	14567.1	2782.2	438.3	14136.9	2700.1	425.4	13526.6	2583.5	407.0
J	17724.8	2855.2	186.7	16737.7	2696.2	176.3	16124.7	2597.4	169.8	15544.8	2504.0	163.7	14731.9	2373.1	155.2
K	1776.92	1879.22	381.58	1702.3	1800.3	365.5	1655.1	1750.3	355.4	1609.8	1702.5	345.7	1545.3	1634.3	331.8
L	12536.1	-	3293.5	11596.4	-	3046.6	11027.5	-	2897.2	10499.4	-	2758.4	9775.7	-	2568.3
M	11877.5	-	1953.6	11085.5	-	1823.3	10600.6	-	1743.6	10146.9	-	1669.0	9519.1	-	1565.7
N	13333.6	-	1781.6	12488.9	-	1668.7	11969.5	-	1599.3	11482.0	-	1534.2	10804.6	-	1443.7
O	3543.387	539.78	321.69	3188.0	485.6	289.4	298-	454.0	270.5	2791.7	425.3	253.4	2541.0	387.1	230.7
P	6723.745	3394.05	384.733	6261.1	3160.5	358.3	5978.8	3018.0	342.1	5715.1	2884.9	327.0	5351.1	2701.1	306.2
Q	8508.896	1150.355	424.159	8279.0	1119.3	412.7	8130.9	1099.2	405.3	7986.7	1079.8	398.1	7777.5	1051.5	387.7

선박	선박 _{Base} 연료소모량			선박 _{30%} 연료소모량			선박 _{50%} 연료소모량			선박 _{70%} 연료소모량			선박 _{100%} 연료소모량		
	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO	HFO	LFO	MDO MGO
R	10831.644	600	331.52	10571.2	585.6	323.5	10402.7	576.2	318.4	10238.2	567.1	313.4	9998.7	553.9	306.0
S	14756.6	458.8	1296.5	13410.4	416.9	1178.2	12612.7	392.1	1108.1	11884.1	369.5	1044.1	10904.2	339.0	988.0
T	16205.07	376.5	1238.26	15027.5	349.1	1148.3	14312.4	332.5	1093.6	13647.1	317.1	1042.8	12732.9	295.8	972.9
U	19227.4	1106.7	777.5	18164.2	1045.5	734.5	17503.7	1007.5	707.8	16878.5	971.5	682.5	16001.8	921.0	647.1
V	18284.05	969.8	922.62	16418.8	870.9	828.5	15329.5	813.1	773.5	14345.2	760.9	723.9	13037.3	691.5	657.9
W	1512.36	885.54	953.23	1297.5	759.7	817.8	1178.7	690.2	742.9	1075.5	629.8	677.9	944.4	553.0	595.3
X	12324.703	700	345.438	11915.4	676.8	334.0	11653.7	661.9	326.6	11400.5	647.5	319.5	11036.0	626.8	309.3
Y	7729.48	61.7	367.21	7511.5	60.0	356.9	7371.3	58.8	350.2	7234.9	57.8	343.7	7037.4	56.2	334.3
Z	15767.349	2010.907	20-38	14168.5	1807.0	179.8	13234.0	1687.8	167.9	12388.9	158-	157.2	11265.5	1436.8	142.9
AA	1789.3	843.6	545.75	1458.3	687.5	444.8	1286.2	606.4	392.3	1142.8	538.8	348.6	968.9	456.8	295.5
AB	2737.6	-	782.34	2443.2	-	698.2	2272.5	-	649.4	2119.1	-	605.6	1916.6	-	547.7
AC	2103.1	86.8	553.53	1624.1	67.0	427.5	1390.3	57.4	365.9	1203.6	49.7	316.8	986.9	40.7	259.7
AD	1164.21	1116.25	493.31	1043.1	1000.1	442.0	972.5	932.5	412.1	908.9	871.5	385.1	824.6	790.6	349.4
AE	20335.42	-	562.13	19152.6	-	529.4	18420.5	-	509.2	17729.5	-	490.1	16763.8	-	463.4

자료: 저자 작성

〈표 4-10〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 CO₂ 배출량

단위: tCO₂

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{30\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{50\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{70\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$	$(\text{선박}_{\text{Base}} - \text{선박}_{100\%}) / \text{선박}_{\text{Base}}$
A	57,058.2	53,679.8	51,591.5	49,622.7	46,874.4	5.92%	9.58%	13.03%	17.85%
B	58,054.3	51,060.9	47,078.0	43,543.5	38,943.9	12.05%	18.91%	25.00%	32.92%
C	47,476.8	44,971.8	43,410.4	41,928.8	39,844.8	5.28%	8.57%	11.69%	16.08%
D	9,752.7	9,340.3	9,079.8	8,830.0	8,474.2	4.23%	6.90%	9.46%	13.11%
E	13,948.8	12,932.2	12,315.1	11,741.0	10,952.4	7.29%	11.71%	15.83%	21.48%
F	15,035.7	13,958.4	13,303.2	12,693.1	11,853.7	7.17%	11.52%	15.58%	21.16%
G	58,659.4	55,544.7	53,604.0	51,763.3	49,175.0	5.31%	8.62%	11.76%	16.17%
H	13,145.6	12,681.2	12,385.1	12,099.3	11,688.8	3.53%	5.78%	7.96%	11.08%
I	59,976.2	57,249.6	55,533.9	53,894.2	51,567.5	4.55%	7.41%	10.14%	14.02%
J	64,790.3	61,182.0	58,941.4	56,821.6	53,850.1	5.57%	9.03%	12.30%	16.89%
K	12,678.1	12,145.4	11,808.7	11,485.8	11,025.7	4.20%	6.86%	9.40%	13.03%
L	49,596.4	45,878.8	43,627.9	41,538.6	38,675.3	7.50%	12.03%	16.25%	22.02%
M	43,249.8	40,365.7	38,600.3	36,948.3	34,662.2	6.67%	10.75%	14.57%	19.86%
N	47,232.6	44,240.3	42,400.6	40,673.4	38,273.9	6.34%	10.23%	13.89%	18.97%
O	13,766.3	12,385.6	11,577.4	10,845.7	9,871.8	10.03%	15.90%	21.22%	28.29%
P	32,865.8	30,604.6	29,224.3	27,935.3	26,156.1	6.88%	11.08%	15.00%	20.42%
Q	31,481.3	30,630.7	30,082.6	29,549.2	28,775.2	2.70%	4.44%	6.14%	8.60%
R	36,683.2	35,801.0	35,230.4	34,673.4	33,862.3	2.40%	3.96%	5.48%	7.69%

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}	(선박 _{Base} -선박 _{30%})/ 선박 _{Base}	(선박 _{Base} -선박 _{50%})/ 선박 _{Base}	(선박 _{Base} -선박 _{70%})/ 선박 _{Base}	(선박 _{Base} -선박 _{100%})/ 선박 _{Base}
S	51,554.3	46,851.0	44,064.2	41,518.9	38,095.3	9.12%	14.53%	19.47%	26.11%
T	55,618.8	51,577.2	49,122.8	46,839.4	43,701.7	7.27%	11.68%	15.78%	21.43%
U	65,854.0	62,212.6	59,950.3	57,809.1	54,806.2	5.53%	8.96%	12.22%	16.78%
V	62,950.3	56,528.5	52,778.1	49,389.0	44,886.2	10.20%	16.16%	21.54%	28.70%
W	10,555.9	9,056.1	8,227.1	7,507.0	6,591.9	14.21%	22.06%	28.88%	37.55%
X	41,692.3	40,307.5	39,422.3	38,566.0	37,332.8	3.32%	5.44%	7.50%	10.46%
Y	25,441.3	24,723.9	24,262.3	23,813.5	23,163.4	2.82%	4.63%	6.40%	8.95%
Z	56,077.2	50,390.7	47,067.1	44,061.8	40,066.1	10.14%	16.07%	21.43%	28.55%
AA	9,979.7	8,133.6	7,173.6	6,374.1	5,403.9	18.50%	28.12%	36.13%	45.85%
AB	11,033.1	9,846.4	9,158.5	8,540.3	7,724.1	10.76%	16.99%	22.59%	29.99%
AC	8,597.2	6,639.2	5,683.5	4,920.2	4,034.2	22.77%	33.89%	42.77%	53.07%
AD	8,724.2	7,816.6	7,288.0	6,811.2	6,179.2	10.40%	16.46%	21.93%	29.17%
AE	65,126.7	61,338.6	58,993.9	56,781.1	53,688.2	5.82%	9.42%	12.81%	17.56%

자료: 저자 작성

2) 2023년 AIS 데이터 기준

2023년 AIS 데이터를 고려한 최적선속에 따른 연료소모량 및 CO₂ 배출량 계산은 연구 대상 선박들의 주기관 사양 파악부터 시작하였다. 주기관 사양은 IMO 번호를 기준으로 검색하고, 선박 정보(건조일, 선종, 선명, 총톤수, 재화중량톤수 등)와의 일치 여부를 확인하면서 정보를 수집하였다. 주기관의 모델명을 알면 주기관 제조사, 실린더 수, 작동방식을 알 수 있다. 예를 들면 ‘MAN B&W 8K98MC-C’의 경우 MAN B&W⁴⁹⁾은 제조사, 8은 실린더의 수, K는 행정(stroke), 98은 피스톤 직경, MC는 기계식 제어 엔진과 같은 의미를 내포하고 있다. 연구 대상 31척의 주기관들은 MAN社 또는 Wärtsilä社의 모델이 대부분이었으며, 선박의 크기에 따라 6~12개의 실린더를 가지고 있었다.

〈표 4-11〉 연구 대상 선박별 용적 및 주기관 사양

선박	총톤수(GT)	재화중량톤수(DWT)	TEU	주기관 사양	
				기통(개)	모델
A	54519	65023	4738	8	K98MCC
B	72597	72982	6350	11	K98MC
C	40029	50162	4253	8	K90MCC
D	9520	12839	953	6	S46MCC
E	9742	11891	1009	6	S46MCC
F	9599	11820	1103	6	S46MCC
G	152003	160927	16010	10	K98MCC
H	9944	13288	1091	6	S46MCC
I	72597	26918	6350	11	K98MC
J	72634	72982	6350	11	K98MC
K	7406	9618.27	710	8	S35MC
L	74962	80855	6622	10	K98MCC
M	40741	52316	4360	8	K90MCC

49) 현재의 MAN

선박	총톤수(GT)	재화중량톤수(DWT)	TEU	주기관 사양	
				기통(개)	모델
N	40839	51314	4228	8	K90MCC
O	9955	12402	1000	6	S46MCC
P	28927	39276	2824	6	L35MC
Q	40898	51752.8	4275	7	RT-flex96C
R	40898	51701.1	4275	7	RT-flex96C
S	53100	31099	4571	9	K90MCC
T	53100	63071	4571	9	K90MCC
U	142620	146046	13154	10	S90MEC
V	142620	146046	13154	10	S90MEC
W	7447	8213	698	8	M43
X	40898	51750	4275	7	RT-flex96C
Y	18606	21810	1785	6	S60MEC
Z	73780	85523	6572	10	K98MCC
AA	7447	8218	698	8	M43
AB	7447	8283	698	7	M43
AC	6490	8662	550	8	L35MC
AD	7683	10728	728	8	L35MC
AE	75488	80855	6622	12	RT-flex96C

자료: 저자 작성

연료소모량을 산출하기 위해서는 항행 중 주기관의 출력, 즉 부하에 대한 정보가 필요하나, AIS 및 DCS 데이터에서는 주기관 출력 정보가 직접 제공되지 않기 때문에, 본 연구에서는 확인가능한 선속 데이터를 바탕으로 주기관의 분당회전수(Revolutions Per Minute, 이하 RPM)를 계산하여 부하를 추정하였다. RPM을 이용한 부하 추정 방식은 화물 적재 상태, 기상 조건 등의 영향을 충분히 반영하지 못할 수 있지만, 이들 요소를 정확히 확인하기 어려운 상황에서 운항 데이터를 활용하여 부하를 근사적으로 산정할 수 있는 합리적인 방법으로 판단하였다. 먼저, 평균항행속도를 이용해 항행 중의 평균분당회전수를 계산하였다. 이를 주기관 모델별 최대 RPM과

비교하여 비례식을 통해 주기관 부하를 추정하였다. 추정된 부하(%)에 따른 단위 출력당 연료소비율(SFOC)을 확인하고, 이것에 운전 시간을 곱해 연료소모량을 산출하였다.

그러나 2023년 AIS 데이터를 고려한 최적선속에 따른 연료소모량 및 CO₂ 배출량 계산에서 유종, 기기별 소모량을 알 수 없기 때문에 가정에 기초하였다. 제1장의 한계점에서 언급한 것과 같이 선박에서 사용한 연료유의 종류는 HFO로 가정하였다. 기기별 소모량의 경우, 주기관은 사양을 고려하되 IMO의 제4차 IMO GHG 연구에 따라 주기관은 접안 및 정박 시 부하가 거의 없어 연료소모량이 발생하지 않는다고 가정하였다.

보조기관과 보일러는 접안과 정박 시에도 출력이 발생⁵⁰⁾하기 때문에 연료소모가 지속적으로 발생하지만, 본 연구에서 연구 대상 선박들의 보조기관 및 보일러 사양과 연료소모량 분석에 한계가 있었다. 따라서 선속에 관계없이 연료소모량이 일정하다는 가정하에 제4차 IMO GHG 연구의 컨테이너선 크기별 보조기관 및 보일러의 평균 연료소모량을 적용하였다.

〈표 4-12〉 컨테이너 선박의 크기에 따른 연료 소모량

등급	크기(TEU)	보조기관(ton)	보일러(ton)
0	0-999	700	400
1	1,000-1,999	1500	400
2	2,000-2,999	1500	600
3	3,000-4,999	2400	500
4	5,000-7,999	2400	500
5	8,000-11,999	2900	500
6	12,000-14,499	3300	600
7	14,500-19,999	3700	600
8	20,000-+	3600	900

자료: 제4차 IMO GHG 연구(2020)

50) 제4차 IMO GHG Study, p. 84., Table 17

위의 방법론으로 도출한 연료소모량에 방법론적 한계점과 측정 오차를 고려하여 보정계수를 적용하였으며, HFO CO₂ 배출계수를 고려해 <표 4-13>과 같이 CO₂ 추정값을 도출하였다.

<표 4-13> 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 CO₂ 배출량

단위: tCO₂

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}
A	52,354.8	48,930.4	46,840.2	44,889.7	42,196.6
B	131,028.6	116,738.2	108,497.4	101,119.1	91,420.4
C	51,164.9	48,716.2	47,185.6	45,730.5	43,678.1
D	10,766.9	10,579.1	10,458.3	10,339.4	10,166.7
E	12,426.7	11,823.8	11,452.9	11,104.7	10,619.7
F	11,781.3	11,091.5	10,674.4	10,287.5	9,758.1
G	61,112.7	58,468.7	56,804.1	55,214.1	52,955.9
H	8,023.7	7,837.8	7,718.9	7,604.8	7,439.6
I	22,409.5	21,622.5	21,123.3	20,643.9	19,959.8
J	51,414.0	48,971.0	47,442.3	45,988.1	43,936.7
K	9,594.9	9,285.4	9,091.0	8,904.2	8,639.9
L	58,567.7	55,608.5	53,763.7	52,014.2	49,554.1
M	35,881.8	33,829.4	32,564.9	31,375.9	29,722.7
N	30,829.5	28,911.1	27,740.1	26,644.5	25,132.8
O	10,443.2	9,701.5	9,265.6	8,868.3	8,338.0
P	6,434.7	6,193.1	6,044.9	5,906.2	5,713.7
Q	78,520.0	76,722.4	75,559.8	74,423.7	72,769.5
R	48,384.0	47,444.1	46,833.6	46,235.4	45,360.6
S	33,282.1	30,535.1	28,904.5	27,412.6	25,403.6
T	58,320.5	54,389.3	51,995.3	49,764.6	46,692.1
U	75,760.8	72,454.3	70,373.6	68,383.4	65,561.0
V	48,717.1	44,143.3	41,463.4	39,035.4	35,799.7
W	5,228.7	4,906.0	4,724.8	4,564.4	4,358.7
X	47,120.5	45,776.7	44,914.3	44,078.2	42,869.4
Y	24,150.5	23,610.7	23,262.5	22,922.8	22,429.3

선박	선박 _{Base}	선박 _{30%}	선박 _{50%}	선박 _{70%}	선박 _{100%}
Z	75,541.9	67,429.4	62,751.8	58,564.0	53,057.8
AA	41,825.7	43,799.8	39,327.0	35,651.5	31,213.6
AB	9,923.3	9,139.1	8,685.2	8,277.6	7,741.6
AC	4,408.7	4,104.8	3,946.3	3,814.2	3,652.8
AD	4,661.6	4,449.2	4,326.6	4,217.1	4,072.7
AE	48,663.3	44,967.1	42,745.8	40,694.3	37,902.1

자료: 저자 작성자료: 저자 작성

주: HFO 배출계수를 적용하여 CO₂배출량 계산

3. 연구 대상의 CII 등급 개선효과

본 연구는 대기시간, 시나리오별 최적선속, 연료소모량, CO₂ 배출량에 대한 추정값을 반영하여 CII 달성값을 계산하고 CII 기준값과의 차이를 도출해 <표 3-5>에 비해 CII 등급이 얼마나 개선되는지 확인하였다. <표 3-3>과 같이 2026년까지의 CII 감축률은 매년 증가하기 때문에, 선박이 동일한 항해시간과 거리에 대해 동일한 연료소모량을 지속적으로 소모한다면 CII 등급은 시간이 지나면서 자연히 저등급으로 바뀌게 된다. 그러한 측면에서 본 연구에서 대응책으로 고려한 대기시간 감소는 CII 등급에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

2022년 DCS 데이터 기준 '25년, '30년, '35년에 대한 연구 대상 선박들의 시나리오별 CII 등급 변화를 비교해보면, 선박_{Base} 시나리오에서 D 또는 E 등급의 선박은 대기시간 30% 감소로 한 등급 또는 두 등급(B, AA선박)까지 상승(31척 중 16척)하는 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 2035년으로 갈수록 30% 감소로 등급이 개선된 선박의 수는 5척으로 적어지며, 대부분의 선박이 선박_{Base} 상태에서 E 등급 상태이기 때문에 최소 50% 이상의 대기시간 감소가 요구되었다. 따라서 단기적인 관점에서 대기시간 감소는 CII 등급 개선에 효과적이며 감소율이 높을수록 더욱 긍정적인 변화가

발생하였으나, 중장기적 관점에서는 대기시간이 감소율은 최소 50% 이상 이어야 하고 개선되는 선박의 수가 적은 것을 확인하였다.

두 자료가 항해거리, 항해시간, 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 달성값까지 모두 상이해 CII 등급은 다르지만, 2023년 AIS 데이터 기준에서는 유사한 결과를 보였다. 장기적으로 갈수록 대기시간 감소만으로는 CII 등급이 개선되는 선박의 수가 줄어들기에 대기시간 감소율을 50% 이상으로 높이는 대응이 필요하다.

〈표 4-14〉 2022년 DCS 데이터 기준 시나리오별 CII 등급('25년, '30년, '35년)

선박	CII 등급														
	'25년					'30년					'35년				
	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%
A	D	C	C	C	B	E	D	D	D	C	E	E	E	E	D
B	E	C	C	B	A	E	E	D	C	B	E	E	E	D	C
C	D	C	C	C	B	E	D	D	D	C	E	E	E	E	D
D	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C	E	E	E	D	D
E	D	C	C	B	B	E	D	D	C	C	E	E	E	E	D
F	D	C	C	B	B	E	D	D	C	C	E	E	E	E	D
G	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C
H	B	B	B	B	A	C	C	C	C	B	D	D	D	D	C
I	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
J	E	E	E	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
K	C	B	B	B	B	D	C	C	C	C	E	E	D	D	D
L	E	E	D	D	C	E	E	E	E	D	E	E	E	E	E
M	C	B	B	B	A	D	C	C	C	B	E	E	D	D	C
N	D	C	C	B	B	E	D	D	C	C	E	E	E	D	D
O	C	B	A	A	A	D	C	B	B	A	E	D	C	C	B
P	C	C	B	B	A	D	D	C	C	B	E	E	D	D	C
Q	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C
R	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E

선박	CII 등급														
	'25년					'30년					'35년				
	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%
S	E	E	E	E	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
T	C	C	B	B	A	D	D	C	C	B	E	E	D	D	C
U	C	B	B	B	A	D	C	C	C	B	E	D	D	D	C
V	B	B	A	A	A	C	C	B	A	A	E	D	C	B	B
W	E	D	C	B	A	E	E	D	C	B	E	E	E	D	C
X	C	C	C	C	C	E	D	D	D	C	E	E	E	E	E
Y	C	C	B	B	B	D	C	C	C	C	E	E	E	D	D
Z	C	C	B	A	A	D	C	C	B	B	E	E	D	C	C
AA	E	C	B	A	A	E	D	C	B	A	E	E	D	C	B
AB	D	C	C	B	A	E	D	D	C	B	E	E	E	D	C
AC	D	B	A	A	A	E	C	B	A	A	E	D	C	A	A
AD	C	B	A	A	A	D	C	B	B	A	E	D	C	C	B
AE	E	D	D	D	C	E	E	E	E	D	E	E	E	E	E

자료: 저자 작성

주: 하늘색은 선박_{Base} 대비 1등급 개선, 보라색은 2등급 개선, 초록색은 3등급 이상 개선

〈표 4-15〉 2023년 AIS 데이터 기준 시나리오별 CII 등급('25년, '30년, '35년)

선박	CII 등급														
	'25년					'30년					'35년				
	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%
A	E	D	D	C	C	E	E	E	D	D	E	E	E	E	E
B	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
C	D	D	C	C	C	E	E	D	D	D	E	E	E	E	E
D	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C
E	C	B	B	B	B	D	C	C	C	C	E	E	D	D	D
F	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C	E	E	E	D	D
G	C	B	B	B	A	C	C	C	C	B	E	D	D	D	C
H	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A
I	C	C	C	C	B	D	D	D	D	C	E	E	E	E	D

선박	CII 등급														
	'25년					'30년					'35년				
	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%	선박 Base	선박 30%	선박 50%	선박 70%	선박 100%
J	D	C	C	C	C	E	E	D	D	D	E	E	E	E	E
K	C	C	C	C	B	D	D	D	D	C	E	E	E	E	E
L	C	C	C	B	B	D	D	C	C	C	E	E	E	D	D
M	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C
N	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	B	B	B	A
O	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B	E	D	C	C	C
P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Q	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
R	E	E	E	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
S	D	D	C	C	B	E	E	D	D	C	E	E	E	E	D
T	D	D	C	C	B	E	E	D	D	C	E	E	E	E	D
U	D	C	C	C	B	E	D	D	D	C	E	E	E	E	D
V	B	A	A	A	A	C	B	B	A	A	D	C	C	B	B
W	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B	D	D	C	C	C
X	D	D	D	D	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Y	C	C	C	C	B	D	D	D	C	C	E	E	E	E	D
Z	E	E	E	E	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
AA	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
AB	D	D	C	C	B	E	E	D	D	C	E	E	E	E	D
AC	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	C	C	B	B	B
AD	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	B	B	B
AE	C	C	B	B	B	E	D	C	C	B	E	E	E	D	C

자료: 저자 작성

주: 하늘색은 선박_{Base} 대비 1등급 개선, 보라색은 2등급 개선, 초록색은 3등급 이상 개선

제3절 소결 및 시사점

통상 터미널은 선사로부터 선박의 입항 정보를 ETA로부터 약 3주 전에 전달받는다. 본 연구에서 조사된 선박의 최초 ETB와 ATB 간 차이는 연구 대상 선박들로부터 평균 약 4일로 분석되었다. 개별 선박에 따라서는 평균 10~13일(F, T, U, W 선박) 정도 미루어진 경우도 있으며, 반대로 약 1~1.5일(M, R 선박) 정도 일정보다 빨라진 경우도 있다. 그러나 이 차이가 클수록 ETB의 불확실성이 높고 예측 정확도가 떨어진다는 의미이기 때문에 차이를 줄이기 위한 원인 분석과 선박-항만 간 협업을 위한 노력이 필요할 것이다.

또한, 선박의 연간 접안 대기시간에는 기항지 도착 전 정박지(Anchorage) 또는 OPL에서 선속이 10노트 이하로 주기관이 정지된 상태를 고려해 정박을 대기시간으로 간주하였다. 그 결과, 선박들은 평균적으로 연간 약 31일 8시간 동안 접안을 위해 대기하는 것으로 나왔으며, 기항지 간 항해거리가 짧고 기항지가 많으며 입출항이 잦은 선박은 최대 64일로써 평균 대비 2배의 시간을 접안 대기에 소요하고 있었다.

국제물류라는 환경이 해사산업의 이해관계자뿐만 아니라 부문 외 육상 무역, 수출입, 정치 등의 상황과도 연관되어 있기 때문에 대기시간이 증가하는 예기치 못한 변수는 많다. 즉 대기시간을 100% 감소시켜 0으로 만든다는 것은 불가능에 가깝다. 그럼에도 불구하고 현재의 시점에서 대기시간 30%를 감소할 경우, 2022년 IMO DCS 데이터 기준 선속 평균 3.95% 감소, 연료소모량 평균 6.86% 감소, CO₂ 배출량 12.18% 감소되는 정량적 개선효과가 분석되었다. 이는 결정적으로 CII 등급 계산에 반영되어 단기적으로 기존 대비 1~2단계의 개선효과를 기대해볼 수 있다.

05

결론 및 향후 과제

제1절 결론

IMO는 2018년에 채택된 초기전략으로서 본격적인 온실가스 감축에 박차를 가하였다. 현재는 현존선의 기술적·운항적 조치인 EEXI와 CII가 발효되었고 중기조치 개발을 논의 중에 있다. 2023 IMO 감축전략의 강화된 의욕 수준 달성에 기여하기 위한 추가적인 조치는 더 개발될 수 있으며, 향후에도 IMO의 온실가스 감축 목표를 진보적으로 설정할 수 있다. 한편 우리나라는 친환경 선박법 제정, 친환경 선박 기본계획 수립, 국제해운 탈탄소화 추진전략 발표, 녹색해운항로 개발 등 진취적인 정책으로 친환경 해운의 의지를 전 세계에 드러내고 있다. 그러나 이러한 국내외 정책들은 화석연료를 사용하던 선박을 친환경 선박으로 대체 건조하고 대체연료 인프라를 갖춘 항만으로 변화하는 데 집중하고 있다. 그렇기 때문에 고질적인 접안 대기시간 감소방안과 선박과 항만이 하나의 유기체로 원활히 협동하는 방안에 대한 고려보다는 선박, 항만 각각의 개별적인 정책을 시행하고 있는 것으로 보인다.

항만의 과도한 체선으로 인한 선박의 접안 지연은 에너지 효율을 저해하는 요소이지만 선박 또는 항만이 개별적으로 움직여서는 개선효과가 나타

나기 어렵다. 선박과 항만 간 협업은 에너지 효율성 향상과 친환경 연료 추진선 확대를 위해 기본적으로 이루어져야 하는 부분이며, 기후위기에 대응하는 목표 달성에 크게 기여할 수 있는 요소다. 그럼에도 불구하고 선박의 접안 대기시간 고려나 항만 체선의 이유를 파악하고 해결하기 위한 노력이 탈탄소화 정책과는 동떨어져 있는 것으로 보인다.

본 연구는 IMO에서는 최초로 운항적 규제인 CII의 달성값 및 기준값에 의한 등급 산정방식에 따라 국적선대의 CII 등급 변화를 예측하였다. 그리하여 국적선대는 2023년 대비 2035년 시점에서 D, E 등급에 해당하는 선박이 3배 이상 증가하는 것을 확인하였다. 2035년 시정조치계획 수립이 필요한 선박은 국적선 68.8%, BBCHP 82.11%로서 국적선과 BBCHP의 선박 수가 44척 차이 남을 고려하더라도 BBCHP 선박들의 CII 대응이 더 요구됨을 확인할 수 있었다. 또한, 국적선과 BBCHP 선박들을 시정조치계획 수립 필요 유무를 기준으로 나누고 선령과 선종을 비교할 때, 고선령 선박이 운항적 효율이 낮다거나 10년 이하⁵¹⁾의 비교적 저선령 선박이 운항적 효율이 높다고 말하기 어렵다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 방법론과 연구 목적상 CII 등급 기반의 시정조치 필요에 대한 결과와 선령 또는 선종 간 상관관계에 대한 정량적 분석에는 한계가 있었지만 본 연구와 연계하여 향후 과제로 진행할 수 있을 것이다.

또한, 본 연구는 대기시간, 시나리오별 최적선속, 연료소모량, CO₂ 배출량에 대한 추정값을 반영하여 CII 달성값을 계산하고 CII 기준값과의 차이를 도출해 CII 등급이 얼마나 정량적으로 개선되는지 확인하였다. CII 감축률은 2026년까지 매년 증가하기 때문에, 선박이 동일한 항해시간과 거리에 대해 동일한 연료소모량을 지속적으로 소모한다면 CII 등급은 시간이 지나면서 자연히 저등급으로 바뀌게 된다.

51) 2022년 기준 국적선 자료에서 5년 미만 선령의 선박은 없었음

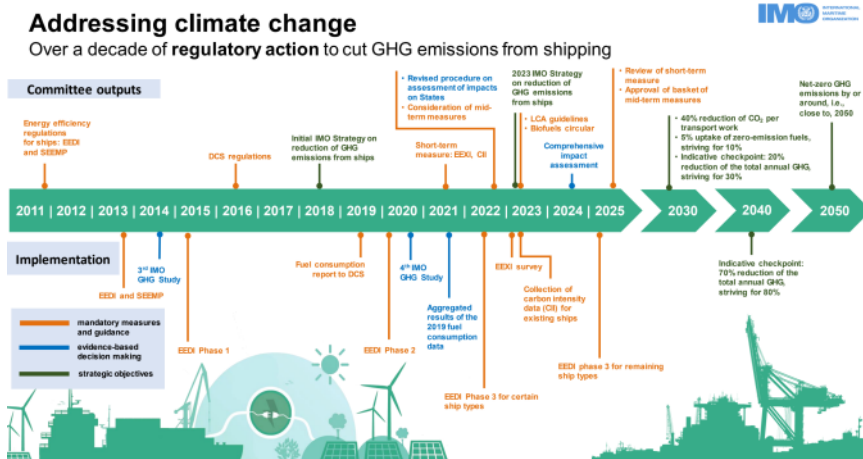
그러한 측면에서 본 연구는 대기시간 30% 감소 시 2022년 IMO DCS 데이터 기준 선속 평균 3.95% 감소, 연료소모량 평균 6.86% 감소, CO₂ 배출량 12.18% 감소라는 효과를 확인하였다. 즉 CII 규제의 대응책으로써 접안 대기시간 감소는 CII 등급에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 결론을 내리고자 한다. 2022년 DCS 데이터 기준 '25년, '30년, '35년에 대한 연구 대상 선박들의 시나리오별 CII 등급 변화를 비교하면, 선박_{Base} 시나리오에서 D 또는 E 등급의 선박은 대기시간 30% 감소로 한 등급 또는 두 등급(B, AA선박)까지 상승(31척 중 16척)하는 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 2035년으로 갈수록 30% 감소로 등급이 개선된 선박의 수는 5척으로 적어지며, 대부분의 선박이 별도의 조치를 취하는 않는 경우(선박_{Base}) 2035년 시점에 E 등급 상태가 되기 때문에 최소 50% 이상의 대기시간 감소가 요구되었다.

따라서 단기적인 관점에서 대기시간 감소는 CII 등급 개선에 효과적이며 감소율이 높을수록 더욱 긍정적인 변화가 발생하였으나, 중장기적 관점에서 대기시간 감소율은 최소 50% 이상이어야 하고 개선되는 선박의 수가 적은 것을 확인하였다. 두 자료가 항해거리, 항해시간, 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 달성값까지 모두 상이하기에 CII 등급은 다르지만, 2023년 AIS 데이터 기준에서도 유사한 결과를 보였다. 장기적으로 갈수록 대기시간 감소만으로는 CII 등급이 개선되는 선박의 수가 줄어들므로 대기시간 감소율을 50% 이상으로 높이는 방안이 필요하다.

제2절 향후 과제

IMO는 초기전략에 따른 5년 개정 주기⁵²⁾에 따라 2023년 7월 제80차 MEPC에서 더욱 강화된 목표를 포함한 ‘2023년 IMO 선박 배출 온실가스 감축 전략(이하 2023 IMO 온실가스 전략)’을 채택하였으며, 해사산업 이 해관계자들에게 친환경 해운을 위한 노력을 강구하고 있다.

〈그림 5-1〉 기후변화 해결을 위한 IMO 성과 및 향후 계획



자료: IMO(d)

환경적인 측면에서 접안 대기시간 감소에 대한 사안은 단기조치 발효 이전에도 그 문제점과 해결 필요성에 대한 공감대가 있었다. 다시 말해 최근 들어 새롭게 두각을 드러낸 사안이 아니다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과를 통해 접안 대기시간 감소는 CII 개선에도 긍정적인 효과가 있다고 나타났기 때문에 그 중요성이 더욱 크다고 볼 수 있다. 본 연구에서 향후 10년 내 CII 등급에 의해 시정조치가 필요한 선박이 569척으로 확인된 점

52) 초기전략의 후속조치(follow-up action) 섹션은 2018년 초기전략이 채택되고 5년 뒤인 2023년에 개정 전략을 채택하는 것으로 명시하고 있음

은 에너지 효율 개선을 위한 노력이 요구됨을 의미한다. 우리나라가 국제해운 탈탄소화와 녹색해운항로에 초점을 맞추고 있는 만큼 조치를 이행하기 위한 적극적인 방안으로 친환경 선박을 대체 건조할 수도 있겠지만, 친환경 선박이라도 접안 대기시간 감소가 이루어지지 않는다면 경제성이 떨어질 수 있으며 2차적인 문제가 발생할 수도 있다. 따라서 선박과 항만의 개별적인 친환경 기술 개발보다도 불필요한 선박의 대기시간을 감소시켜 에너지 효율을 높이는 대응이 선박과 항만 모두에 환경적, 경제적 측면에서 긍정적이다.

이러한 관점에서 2023 IMO GHG 감축전략에 따라 2026년 1월 1일까지 CII 이행 현황을 검토하여 개선하는 과정을 포함하였다. 이에 따라 2025년 봄에 개최되는 제83차 MEPC의 단기조치 논의 과정에서 대기시간 감소에 의한 선속 최적화와 적시성 확보에 따른 정량적인 CII 개선효과를 논의해볼 수 있을 것이다. 이에 본 연구는 제82차 MEPC에 우리나라 의제문서(MEPC 82/INF.26)로 제출하였고 IMO 문서 시스템에 등재(부록 참조)되었다. IMO 의제문서는 IMO의 단일 회원국 또는 뜻이 일치한 2개국 이상의 회원국들이 공동 개발하여 제출할 수 있다. 국제해운 관련 다양한 규제가 논의되는 IMO 회의체에서 의제문서 제출은 주요 논점 사항에 대해 우리나라의 의견을 반영하고 IMO 성과 도출에 기여⁵³⁾하는 효과적인 방법으로써 중요한 의의가 있다. 따라서 본 연구결과를 IMO 의제문서로 개발하여 제출하였다는 것은 단순한 연구결과 표명뿐만 아니라 우리나라의 입장과 의견을 나타내는 공식적인 외교문서로 반영되었다는 의미이다.

우리나라의 IMO 의제문서 제출 과정은 IMO 회의 개최 전 정부대표단의 사전대책회의에서 해사부문 산·학·연 이해관계자들이 개발한 문서 초안을 검토하는 것부터 본격적으로 논의된다. 정부대표단의 전문가들은 의제문서 초안의 내용을 검토하여 적절성을 검토하며, 적절하다고 판단한 의제문서는 전문가들의 의견을 수용해 보완 과정을 거친다. 이후 정부부처 담

53) 채종주 외(2017), p. 76.

당자는 주요 회원국들을 대상으로 보완된 의제문서 초안을 회람하여 공동 제출(Co-sponsorship) 여부에 대한 의견을 수렴한다. 공동제출을 희망하는 국가가 있는 경우 내용을 보완하고 제출국을 수정해 기한 내 IMO 사무국에 문서를 제출한다. IMO 사무국은 회원국들로부터 의제문서를 접수받아 편집과정을 거쳐 문서를 등재하며, 회원국들은 본 회의 전 등재된 문서들을 검토하여 회의에서 논의한다. 이와 같이 일련의 과정을 거쳐 개발된 의제문서는 국내외의 해사부문 이해관계자들의 의견을 수렴하고 검토과정을 거쳐 제출한다. 국제해운의 특성상 개별 국가만의 노력으로는 표준화된 체계를 형성하기 어려우므로 대기시간 감소를 위해 국제적 차원에서 이해관계자 간 협력이 필요하다. 실제로 IMO 초기전략(MEPC.304(72))의 단기 후보조치와 2023 IMO GHG 감축전략(MEPC.377(80))의 중기 후보조치에는 물류체인 및 계획 최적화를 포함한 항만 개발과 선박 배출 온실가스 감축을 위한 활동을 장려하는 조치를 분석하고 고려하는 것이 포함되므로 향후 과제는 온실가스 감축을 위한 새로운 조치 개발에 정책적 기여가 가능할 것이다.

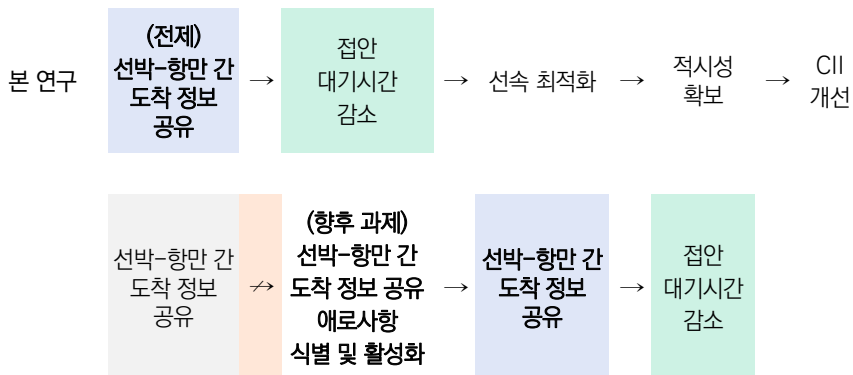
〈그림 5-2〉 IMO 의제문서 개발 및 제출 과정



자료: 저자 작성

본 연구는 접안 대기시간 감소를 통한 선속 최적화로 적시성을 확보하여 환경적, 경제적 효과가 있다는 점을 확인하였다. 하지만 이는 선박과 항만 간 도착 정보 공유가 원활하다는 가정을 전제로 한 것이다. 즉, 선박과 항만 간 도착 정보 공유를 통한 접안 대기시간 감소의 이점은 검증하였지만, 결정적으로 선박과 항만 간 도착 정보 공유 방안에 대해서는 연구되지 못하였다. 따라서 본 연구의 후속 과제이자 향후 과제로서 선박-항만 간 정보 공유 현황과 애로사항을 식별하여 활성화 방안 연구가 필요하다. 더불어 선박의 접안 대기시간은 항만 체선 또는 선박의 운항 상황에 대한 정보 공유 문제, 기상악화, 예기치 못한 사고 등 다양한 원인으로 발생할 것으로 미루어 짐작할 수 있지만, 대기시간 발생 원인에 대한 문서화 또는 데이터가 축적되지 않은 상태에서 정량적인 파악이 어렵다. 그렇기 때문에 대기시간 원인에 대한 데이터 수집이 요구된다.

〈그림 5-3〉 본 연구와 향후 과제의 차이



자료: 저자 작성

또한, 제3장의 연구 과정에서 CII 등급 기반 시정조치가 필요한 선박이 고선령이 아닌 경우를 확인하였다. 따라서 CII 저등급 선박과 선령 또는 선종 간 상관관계에 대한 정량적, 정성적 연구 역시 향후 과제로 진행할 수 있을 것이다. 그 밖에도 선장의 운항 패턴, 해상 기후 등 대기시간 외 CII에

영향을 미칠 수 있는 요소를 추가적으로 식별하여 모니터링 및 빅데이터 축적 방안을 모색하는 기술·정책적인 연구가 요구된다.

참고문헌

국내 문헌

- 공인영 외(2019), 부산신항 LNG 벙커링 기지 운영에 따른 선박운항 정시성 영향 검토, 해양환경안전학회 공동학술대회, 145-146.
- 김동윤·신학승(2023), 해상운송의 국제 환경 규제 강화에 따른 해운기업의 대응 방안에 관한 연구, 무역보험연구, 24(1), 33-46.
- 김동호·이관영·권동욱(2022), 탄소중립을 위한 친환경 선박 연료 및 오염물질 제어기술 동향, 공업화학전망, 25(2), 8-27.
- 김은환(2023), 중국의 선박기인 온실가스 배출규제에 관한 법적 고찰, 강원법학, 72, 57-96.
- 김창곤·장성용(2008), Bulk 부두의 선박 대형화에 따른 선석별 점유율 비교 분석, 한국시물레이션학회 논문지, 17(3), 63-73.
- 남상욱(2021), 해운·조선산업의 규제변화에 따른 폐선(廢船) 시장의 영향과 시사점. 월간 KIET 산업경제, 276, 20-30.
- 대외정책연구원(2023), 빅데이터로 보는 경제난과 환경재앙에 직면한 아프리카, 지속가능한 성장 방안 모색, EMERiCs 아프리카·중동 이슈심층분석.
- 안준건(2022), 탄소중립을 위한 친환경 선박 인증제도의 개선방향에 관한 연구, 대한조선학회 논문집, 59(6), 372-384.
- 외항운송사업 면허 및 등록 등 사무처리요령(해양수산부고시 제2022호-202호, 2022.12.22.)
- 이정엽 외(2021), CII 규제 대응 지침서, 한국선급.

임상섭·이병엽(2022). IMO GHG 규제에 따른 해운산업 비용 추정, 한국콘텐츠학회논문지, 22(11), 561-571.

임효근·한기영·이지웅(2023), 온실가스 감축조치 예외 선박의 EEXI 적용에 관한 연구. 한국해양환경·에너지학회지, 26(4), 349-358.

조수현 외(2023), 항만 정시성 예측을 위한 선박 ETA/RTA 예측 알고리즘, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 4087-4095.

채종주 외(2017), IMO GUIDE BOOK, 해양수산부, 20-447.

최대현·정충삼·장홍훈(2022), 기후변화에 따른 탄소중립 (저감) 규제가 항만에 미치는 영향에 관한 연구, 산업경제연구, 35(6), 1331-1352.

한국선급(2024), FuelEU Maritime 지침서.

한국선주상호보험(2022), 강화되는 온실가스 규제(EEXI 및 EU-ETS)와 용선계약-BI MCO CLAUSE의 소개-, 해양한국, 해상클레임 예방가이드, 118-121.

한국해사협력센터·현대글로벌서비스(2023), 선박 탄소집약도지수(CII) 규제 이행 지원 컨설팅 「선박 온실가스 감축규제 이행 지원사업」, 해양수산부, 1-47.

해양수산부(2024), 국제해운 탈탄소화 추진전략

해운법(법률 제19807호, 2023.10.31.).

홍상용·전해동(2022), 선박 온실가스 배출규제의 국내 이행에 관한 연구, 海事法研究, 34(2), 207-229.

국외 문헌

2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX(EEDI) FOR NEW SHIPS(IMO RESOLUTION MEPC.308(73), 2018.10.26.).

2021 GUIDELINES ON OPERATIONAL CARBON INTENSITY INDICATORS AND THE CALCULATION METHODS(CII GUIDELINES, GI)(IMO RESOLUTION MEPC.336(76), 2021.6.17.)

2021 GUIDELINES ON THE REFERENCE LINES FOR USE WITH OPERATIONAL CAR

- BON INTENSITY INDICATORS(CII REFERENCE LINES GUIDELINES, G2)(IMO RESOLUTION MEPC.337(76), 2021.6.17.)
- 2021 GUIDELINES ON OPERATIONAL CARBON INTENSITY REDUCTION FACTORS RELATIVE TO REFERENCE LINES(CII REDUCTION FACTORS GUIDELINES, G3)(IMO RESOLUTION MEPC.338(76), 2021.6.17.)
- 2021 GUIDELINES ON THE OPERATIONAL CARBON INTENSITY RATING OF SHIPS (CII RATING GUIDELINES, G4)(IMO RESOLUTION MEPC.339(76), 2021.6.17.)
- 2022 GUIDELINES ON OPERATIONAL CARBON INTENSITY INDICATORS AND THE CALCULATION METHODS(CII GUIDELINES, G1)(IMO RESOLUTION MEPC.352(78), 2022.6.10.)
- 2022 GUIDELINES ON THE REFERENCE LINES FOR USE WITH OPERATIONAL CARBON INTENSITY INDICATORS(CII REFERENCE LINES GUIDELINES, G2)(IMO RESOLUTION MEPC.353(78), 2022.6.10.)
- 2022 GUIDELINES ON THE OPERATIONAL CARBON INTENSITY RATING OF SHIPS (CII RATING GUIDELINES, G4)(IMO RESOLUTION MEPC.354(78), 2022.6.10.)
- 2022 INTERIM GUIDELINES ON CORRECTION FACTORS AND VOYAGE ADJUSTMENTS FOR CII CALCULATIONS(CII GUIDELINES, G5)(IMO RESOLUTION MEPC.355(78), 2022.6.10.)
- 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS(IMO RESOLUTION MEPC.377(80), 2023.7.7.).
- AMENDMENTS TO THE ANNEX OF THE PROTOCOL OF 1997 TO AMEND THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 1973, AS MODIFIED BY THE PROTOCOL OF 1978 RELATING THE RETO(Resolution MEPC.278(70), 2016.10.28.).
- AMENDMENTS TO THE ANNEX OF THE PROTOCOL OF 1997 TO AMEND THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 1973, AS MODIFIED BY THE PROTOCOL OF 1978 RELATING THE RETO, Procedures for sampling and verification of the sulphur content of fuel oil and the Energy Efficiency Design Index(EEDI)(Resolution MEPC.324(75), 2020.11.20.).
- Arjona Aroca, J. et al.(2020). Enabling a green just-in-time navigation through stake

-
- holder collaboration. *European Transport Research Review*, 12, 1-11.
- Bakht Zaman, Dusica Marijan & Tetyana Kholodna(2023), Interpolation-Based Inference of Vessel Trajectory Waypoints from Sparse AIS Data in Maritime, *Journal of Marine Science and Engineering*, 11.3, pp, 02-15.
- Bayraktar, M., & Yuksel, O.(2023). A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index(EEXI) and carbon intensity indicator(CII) regulations. *Ocean Engineering*, 278, 114295.
- CE Delft et al. (2020), Fourth IMO GHG Study, pp. 1-250.
- Chuah, L. F. et al.(2023). Implementation of the energy efficiency existing ship index and carbon intensity indicator on domestic ship for marine environmental protection. *Environmental research*, 222, 115348.
- Comer, B., Chen, C. & Rutherford, D.(2018). Relating short-term measures to IMO's minimum 2050 emissions reduction target, IMO, MEPC 73/INF.27Faber, J., Huigen, T. & Nelissen, D.(2017). Regulating Speed: A Short-term Measure to Reduce Maritime GHG Emissions. CE Delft Publication, Netherlands.
- Dewan, M. H., & Godina, R.(2024). An overview of seafarers' engagement and training on energy efficient operation of ships. *Marine Policy*, 160, 105980.
- De Andres Gonzalez, O. et al.(2021). Digitalization in just-in-time approach as a sustainable solution for maritime logistics in the baltic sea region. *Sustainability*, 13(3), 1173.
- Dewan, M. H., & Godina, R.(2023). Roles and challenges of seafarers for implementation of energy efficiency operational measures onboard ships. *Marine Policy*, 155, 105746.
- Elkafas, A. G., Rivarolo, M., & Massardo, A. F.(2023). Environmental economic analysis of speed reduction measure onboard container ships. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(21), 59645-59659.
- Farkas, A. et al.(2023). Benefits of slow steaming in realistic sailing conditions along different sailing routes. *Ocean Engineering*, 275, 114143.
- Gallo, M. et al.(2023). Power plant design for all-electric ships considering the assessment of carbon intensity indicator. *Energy*, 283, 129091.

- Garbatov, Y., Georgiev, P., & Yalamov, D.(2023). Risk-based retrofitting analysis employing the carbon intensity indicator. *Ocean Engineering*, 289, 116283.
- Goldsworthy, Brett, & Laurie Goldsworthy.(2019), Assigning machinery power values for estimating ship exhaust emissions: Comparison of auxiliary power schemes. *Science of the total environment* 657, pp. 963-977.
- ICCT(2011), The Energy Efficiency Design Index(EEDI) for New Ships, Policy Update 15, pp. 1-9.
- INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS(IMO RESOLUTION MEPC.304(72), 2018.4.13.).
- Kim, H., Yeo, S., Lee, J., & Lee, W. J.(2023). Proposal and analysis for effective implementation of new measures to reduce the operational carbon intensity of ships. *Ocean Engineering*, 280, 114827.
- Leaper, R.(2019). The role of slower vessel speeds in reducing greenhouse gas emissions, underwater noise and collision risk to whales. *Front. Mar. Sci.* 6, 505.
- Lessons learned from the CII consulting conducted by the Republic of Korea(IMO MEPC 81/INF.22).
- Lindstad, H., Asbjørnslett, B., Strømman, A.(2011). Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds. *Energy Policy* 39, 3456-3464.
- Prasetyo, D. W., Herawati, S., & Hananto, T.(2023). Carbon Reduction Program Implementation Strategy on Product Tanker Fleet Against the Carbon Intensity Indicator(CII) Decreasing Target. *International Journal of Advanced Multidisciplinary*, 2(2), 349-358.
- Rauca, L., & Batrinca, G.(2023). Impact of Carbon Intensity Indicator on the Vessels' Operation and Analysis of Onboard Operational Measures. *Sustainability*, 15(14), 11387.
- Ronen, D.(2011). The effect of oil price on containership speed and fleet size. *J. Oper. Res. Soc.* 62 (1), 211-216.
- Ryder, S. & Chappell, D.(1980). Optimal speed and ship size for the liner trades. *Maritime Policy Manage.* 7 (1), 55-57.
- 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, 132441.
- Senss, A. et al.(2023). Just in time vessel arrival system for dry bulk carriers. *Journal of Shipping and Trade*, 8(1), 12.
- Sun, W. et al.(2022). An improved ship weather routing framework for CII reduction accounting for wind-assisted rotors. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1979.
- Taskar, B., Sasmal, K., & Yiew, L. J.(2023). A case study for the assessment of fuel savings using speed optimization. *Ocean Engineering*, 274, 113990.
- Tran, T. T. et al.(2023). Route optimization for vessels in ice: Investigating operational implications of the carbon intensity indicator regulation. *Marine Policy*, 158, 105858.
- Tsai, Y. M., & Lin, C. Y.(2023). Effects of the Carbon Intensity Index Rating System on the Development of the Northeast Passage. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(7), 1341.
- Vasilikis, N., Geertsma, R., & Coraddu, A.(2023). A digital twin approach for maritime carbon intensity evaluation accounting for operational and environmental uncertainty. *Ocean Engineering*, 288, 115927.
- Wang, S., Meng, Q.(2012). Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network. *Transp. Res. Part E* 48, 701–714.
- Wei, Q. et al.(2023). A digital twin framework for real-time ship routing considering decarbonization regulatory compliance. *Ocean Engineering*, 278, 114407.
- WMO(2024), State of the Global Climate 2023, WMO, No.1347.
- WORK PLAN FOR DEVELOPMENT OF MID- AND LONG-TERM MEASURES AS A FOLLOW-UP OF THE INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS(MEPC 76/15/Add.2 – Annex 14)
- Yoon, Jeong-Hyun, et al.(2023). Coastal Air Quality Assessment through AIS-Based Vessel Emissions: A Daesan Port Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), pp. 2291.
- Yoon, Jeong-Hyun, et al.(2023), Enhancing Container Vessel Arrival Time Predictio

- n through Past Voyage Route Modeling: A Case Study of Busan New Port, Journal of Marine Science and Engineering, 11(6), pp. 11-17.
- Yoon, J. H. et al.(2023). Enhancing Container Vessel Arrival Time Prediction through Past Voyage Route Modeling: A Case Study of Busan New Port. Journal of Marine Science and Engineering, 11(6), 1234.
- Yuan, Q., Wang, S., & Peng, J.(2023). Operational efficiency optimization method for ship fleet to comply with the carbon intensity indicator(CII) regulation. Ocean Engineering, 286, 115487.
- Zhang, C. et al.(2023). Research on Carbon Intensity Prediction Method for Ships Based on Sensors and Meteorological Data. Journal of Marine Science and Engineering, 11(12), 2249.

인터넷 자료

- ABS, <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/regulatory-updates/fuel-eu-maritime.html>(검색일: 2024.10.24.)
- BALTICSHIPPIN.COM, ship info, <https://www.balticshipping.com>(검색일: 2024.5.8.)
- distance.to, <https://docs.distance.to/features/calculation>(검색일: 2024.7.15.)
- FleetMon, vessels, <https://www.fleetmon.com>(검색일: 2024.5.8.)
- GENERATOR SOURCE, Approximate Diesel Fuel Consumption Chart, https://www.generatorsource.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx(검색일: 2024.5.8.)
- IMO(a), Climate action, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Decarbonization%20of%20shipping.aspx>(검색일: 2024.4.15.)
- IMO(b), EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx>(검색일: 2024.4.26.)
- IMO(c), IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships, IMO's work to cut GHG emissions from ships, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTo>

pics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx(검색일: 2024.4.26.)

IMO(d), IMO's work to cut GHG emissions from ships, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/IMO-Strategy-on-reduction-of-GHG-emissions-from-ships.aspx>(검색일: 2024.4.26.)

IMO(e), Market-Based Measures, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Market-Based-Measures.aspx>(검색일: 2024.5.20.)

IMO(f), Short-term GHG reduction measure, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Short-term-GHG-reduction-measure.aspx>(검색일: 2024.5.21.)

IMO(g), Mid- and long-term GHG reduction measures, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Mid-and-long-term-GHG-reduction-measures.aspx>(검색일: 2024.5.21.)

LINERLYTICA(2024.7.2.), <https://www.linerlytica.com/post/market-pulse-2024-week-27>(검색일: 2024.7.30.)

MAERSK, <https://www.maersk.com/insights/sustainability/2024/10/10/what-you-need-to-know-for-2025>(검색일: 2024.10.24.)

MARINE MERCURY, Prop Bite: Understanding Prop-Slip, <https://www.mercurymarine.com/us/en/lifestyle/dockline/prop-bite-propeller-slip>(검색일: 2024.5.21.)

math doctors, <https://www.themathdoctors.org/distances-on-earth-1-the-cosine-formula>(검색일: 2024.7.15.)

Marine MAN, ship's data, <https://ships.jobmarineman.com>(검색일: 2024.5.8.)

SeaVantage, 선박의 위치 추적을 가능하게 하는 AIS 데이터, <https://www.seavantage.com/blog/ship-tracking-ais-data>(검색일: 2024.5.21.)

Ship Photo Roster, SHIPS, <https://ship-photo-roster.com>(검색일: 2024.5.8.)

spire, Marine AIS Data, https://spire.com/maritime/?utm_campaign=maritime_2022_exactearth_redirect&utm_source=exactearth&utm_medium=website&utm_content=homepage(검색일: 2024.5.21.)

VSLJOIN, Vessel Info Summary, <https://vesseljoin.com>(검색일: 2024.5.8.)

국토교통부 국가물류통합정보센터, 항만별 물동량 통계, <https://www.nlic.go.kr/nl>

- ic/seaHarborGtqy.action(검색일: 2024.5.17.)
- 국토연구원, 국토용어해설, https://library.krihs.re.kr/bbs/content/2_2(검색일: 2024.4.15.)
- 대외정책연구원(2023.12.30.), [월간정세변화] 경제난과 환경재앙에 직면한 아프리카, 지속가능한 성장 방안 모색, <https://www.emerics.org:446/issueDetails?brdctsNo=359833&mid=a10200000000&systemcode=05>(검색일: 2024.5.20.)
- 부산신항만공사, 부산신항 부두별 컨테이너 처리실적, <https://www.busanpa.com/kor/Contents.do?mCode=MN1003>(검색일: 2024.5.17.)
- 선박항해용어사전, 재화중량톤수, <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=382896&cid=42329&categoryId=42329>(검색일: 2024.5.8.)
- 외교부, 기후변화체제, https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20150/contents.do(검색일: 2024.5.22.)
- 우리나라 정책브리핑(2022.11.22.), 해수부, COP27서 녹색해운·블루카본 등 국제사회와 협력, <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148908608>(검색일: 2024.4.10.)
- 카고뉴스, 용어관리-나용선, https://www.cargonews.co.kr/tmdict/adminKeyView.php?P_URI=idxno%3D329%26pagecnt%3D0%26letter_no%3D52%26start_num%3D0%26search%3D%26keyword%3D%26Lang%3DKor%26StartTm%3D%EB%82%98%26EndTm%3D%EB%8B%A4(검색일: 2024.5.18.)
- 한겨레신문(2023.8.4.), 겨울인데 30도 넘는 산미...끓는 지구, 끓이지 않는 신기록, <https://www.hani.co.kr/arti/opinion/column/1103088.html>(검색일: 2024.5.1.)
- 한겨레신문(2023.5.19.), 100년에 한 번 극단 폭염, 5년에 한번으로...지구 덮친 기후 위기, https://www.hani.co.kr/arti/international/international_general/1092412.html(검색일: 2024.5.20.)
- 한국해사협력센터(2024.3.4.), 국적선사 선박탄소집약도지수(CII) 등급 개선 컨설팅 지원사업 이행, https://www.imokorea.org/board/board.asp?B_ID=notice&ty=view&page=1&bandstart=1&findtype=Title&findstr=%C4%C1%BC%B3%C6%C3&idx=5382&ii=1(검색일: 2024.5.22.)

한국해운신문(2021.3.17.), “국적선 85%, 온실가스 규제 충족 못해”, <http://www.maritimepress.co.kr/news/articleView.html?idxno=304020>(검색일: 2024.5.18.)

한국해운신문(2024.07.08.), <http://www.maritimepress.co.kr/news/articleView.html?idxno=321418>(검색일: 2024.7.30.)

해양수산부(2020.3.2.), 선박자동식별시스템 운영현황, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?menuSeq=427&bbsSeq=2&docSeq=30875>(검색일: 2024.5.21.)

해양수산부 보도자료(2020.12.22.), 그린뉴딜, 탄소중립을 위한 친환경 선박 중장기 계획 수립, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=36748&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2024.4.26.)

해양수산부 보도자료(2021.6.23.), 앞으로는 운항 중인 선박도 온실가스 감축해야, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=39198&pagecnt=10&searchDeptName=&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2024.5.22.)

해양수산부 보도자료(2021.8.24.), 선박 온실가스 규제대응 위해 에너지 효율 등급 미리 확인한다, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=42764&pagecnt=10&searchDeptName=&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2024.5.22.)

해양수산부 보도자료(2022.10.31.), 국제항해선박 온실가스 규제, 미리 준비하세요, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=47770&pagecnt=10&searchDeptName=&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2022.10.31.)

해양수산부 보도자료(2023.2.14.), 우리나라 해운산업, 바다위 무탄소 운송 이끈다, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=49155&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2024.04.10.)

해양수산부(2023.6.8.), 선박자동식별시스템(AIS) 구축현황(23.6), <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?menuSeq=427&bbsSeq=2&docSeq=51489>(검색일: 2024.5.21.)

해양수산부 보도자료(2023.9.6.), 한-호주, 녹색해운항로 구축 제안 등 해운·해사분야 협력 강화, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=53107&menuSeq=971&bbsSeq=10>(검색일: 2024.5.20.)

해양수산부 보도자료(2023.11.6.), 한-싱가포르, 녹색해운항로 현황 공유 등 해운·해사분야 협력 강화, <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=53107&menuSeq=971&bbsSeq=10>

=53848&menuSeq=971&bbsSeq=10(검색일: 2024.5.20.)

해양수산부 보도자료(2024.1.29.), 2023년 우리 항만 컨테이너 물동량 3천만 TEU 시
대에 안착, [https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=55225&
menuSeq=971&bbsSeq=10](https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=55225&menuSeq=971&bbsSeq=10)(검색일: 2024.7.2.)

해양수산부 보도자료(2024.4.15.), 위기를 넘어 글로벌 친환경 해운강국으로, 정부와
민간이 함께 이룬다, [https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq
=56576&bbsSeq=10&menuSeq=971](https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=56576&bbsSeq=10&menuSeq=971)(검색일: 2024.5.20.)

부 록

1. IMO 의제문서 개발 (MEPC 82/INF.26) —————

IMO는 제80차 MEPC에서 채택한 2023 IMO GHG 감축전략에 따라 2026년 1월 1일까지 단기조치인 CII를 검토해야 한다. 이에 따라 회원국들은 2025년에 한번 개최되는 제83차 MEPC에서 CII 검토를 완료하기 위해 제82차 MEPC('24년 10월)에 CII 이행 결과에 따른 개선점과 해결방안에 대한 다양한 의견을 제출하였다. 본 연구 역시 그러한 시기적인 상황을 인지하고 접안 대기시간이 CII에 얼마나 큰 영향을 미치는지 정량적으로 확인하기 위해 분석을 진행하였다. 더 나아가서 본 연구 내용 중 2022년 DCS 데이터를 기반으로 대기시간 감소율에 따른 연료소모량, CO₂ 배출량, CII 등급 변화에 초점을 맞추어 IMO 의제문서⁵⁴⁾를 개발하였으며 IMO 문서로써 등재되었다. 이 과정에서 미국의 환경단체인 태평양환경재단(Pacific Environment)과 의견일치를 이루어 공동 제출하였다.

54) MEPC 82/INF.26(우리나라 및 태평양환경재단), Quantitative improvement effect of reducing waiting times for berth and optimizing ship speed on CII

MARINE ENVIRONMENT PROTECTION
COMMITTEE
82nd session
Agenda item 6

MEPC 82/INF.26
26 July 2024
ENGLISH ONLY

Pre-session public release: ☑

ENERGY EFFICIENCY OF SHIPS

Quantitative improvement effect of reducing waiting times for berth and optimizing ship speed on CII

Submitted by the Republic of Korea and Pacific Environment

SUMMARY

Executive summary: This document highlights quantitative improvements in terms of CO₂ emissions, attained CII, and ratings by reducing the waiting time for ships to berth at ports. In addition to improving fuel consumption and carbon intensity indicator (CII), it will be necessary to consider cooperation between ships and ports in the mid- to long-term to achieve the level of ambition of the 2023 IMO GHG Strategy and to establish an alternative fuel supply infrastructure as part of a basket of candidate mid-term measures.

Strategic direction, if applicable: 3

Output: 3.2

Action to be taken: Paragraph 10

Related documents: Resolutions MEPC.304(72) and MEPC.377(80), and MEPC 81/INF.22

Introduction

1 As a short-term measure to reduce greenhouse gas (GHG) emissions adopted in 2021, the annual operational Carbon Intensity Indicator (CII) and associated CII rating came into effect on 1 January 2023. The first annual reporting is to be completed in 2023, with initial ratings scheduled to be given in 2024.

2 Each shipping company can develop a plan to enhance the CII of its ships by calculating them. However, small and medium-sized shipping companies lack the capacity compared to large shipping companies. To address this issue, the Republic of Korea has been supporting small and medium-sized shipping companies in complying smoothly with CII regulations through the CII rating improvement consulting project since 2023. The lessons learned from the consulting results have been shared with the Committee through the document MEPC 81/INF.22 (Republic of Korea).

MEPC 82-INF.26

MEPC 82/INF.26

Page 2

3 The 2023 consulting revealed that one of the primary operational challenges faced by shipping companies, aside from financial constraints and fleet specifications, was the waiting times for berths due to port congestion. Although there are various factors that cause port congestion and the impact is felt in several ways, the reality is that it is not easy to solve because stakeholders related to cargo, ships, and ports are all interconnected in the logistics chain.

4 Nevertheless, the Organization recognizes securing Just-In-Time (JIT) shipping as an opportunity to achieve both economic and environmental effects by reducing CO₂ emissions and fuel consumption (*Just in Time Arrival Guide – Barriers and Potential*), and also adopted resolution MEPC.323(74) to encourage cooperation between ships and ports to enhance GHG emissions reduction. This document aims to present the quantitative effect of improving attained CII and ratings by ensuring JIT through reducing waiting time and optimizing ship speed to comply with CII regulations and to consider it as a future measure.

Analysis and comparison of annual waiting times for berths

5 Depending on the logistics chain, collaboration between ships and ports requires the efforts of stakeholders, including shippers, shipowners, ship operators, charters, port terminals, shipping agents, and seafarers. Considering this, a liner (typically, container ship) that regularly operates a specific route scheduled in advance will be easier than a tramp (generally, bulk carrier) whose route varies for each voyage. Additionally, the reduction rate of the CII has been determined until 2026 (11%), and additional revisions can be developed after reviewing short-term measures by 1 January 2026. Therefore, it is necessary to consider it in the mid- to long-term. The sample group for analyzing annual waiting time for berth is 21 container ships entering and leaving Busan New Port, which handles the largest volume of containers in Korea and corresponds to a rating of "D" for the third consecutive year or a rating of "E" in a single year.

6 By analyzing the annual AIS data of the sample group, we extracted the waiting time for manoeuvring to less than 10 knots before arrival, which includes anchoring and drifting in anchorage or outside of the port limit, by separating navigation time (Table 1). Depending on the ship's route, the annual waiting time ranges from 10 to 60 days (with an average of 30 days). It was confirmed that the waiting time is more likely to increase with more frequent entry and exit of the ship and fluctuations in the port of call. The waiting time of a specific port could extend up to 10 days, depending on the port.

¹ <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/GIA-just-in-time-hires.pdf>

Table 1: Annual waiting times of sample ships

Ship	Route	Voyage	Distance [nm]	Sailing time [h]	Average speed [nm/h]	Waiting time [h]
A	Far East	7	97,517.5	7,015.2	13.90	724.6
B	Far East - East Latin America	4	86,873	5,818.1	14.93	1285.5
C	Asia-North America	14	95,983.1	6,595.8	14.55	604.0
E	North East Asia	15	57,799	4,409.1	13.11	566.7
F	North East Asia	33	62,143	4,991.7	12.45	630.2
I	Asia-Mediterranean	4	89,594	6,126.4	14.62	480.6
J	North East Asia-Oceania	7	89,046	5,777.2	15.41	559.7
L	Asia-North America	14	65,678.8	4,459.5	14.73	590.5
M	Asia-North America	14	92,325	6,260.2	14.75	732.6
N	Asia-North America	14	95,654.1	7,465	12.81	827.8
P	South East Asia	13	79,861	5,608	14.24	678.3
R	South East Asia	13	75,966	5,096	14.91	208.0
S	Far East - Mediterranean – East Latin America	5	97,018	6,361.4	15.25	1,038.9
T	Far East - Mediterranean – East Latin America	5	103,469	6,478	15.97	830.1
W	North East Asia	43	46,281	4,340	10.66	1,152.0
X	North East Asia	12	84,787	5,614	15.10	318.7
Z	North East Asia	7	88,916	6,154	14.45	1,126.5
AA	South East Asia	47	44,680	4,247	10.52	1,524.5
AB	South East Asia	32	52,854	4,716	11.21	920.4
AC	South East Asia	41	41,269	3,360	12.28	1,545.0
AE	South East Asia	6	90,691	8,590	10.56	870.9

Improving CII by reducing of waiting times

7 At the same distance, the waiting time in Table 1 is reduced by 30%, 50%, 70%, and 100%, and four scenarios with adjusted ship speed were added to compare fuel consumption, CO₂ emissions, and Attained CII and CII rating (Table 2). It is practically impossible to reduce the waiting time by 100%, but when the waiting time is reduced by 30%, the average reduction in CO₂ emissions is 7.7%, the average reduction in Attained CII is 8.5%, and 52.38% (one phase-up: 42.86%, two phase-up: 9.52%) of the sample group showed the effect of improving the grade. Additionally, a 50% reduction scenario resulted in an average 12.2% decrease in CO₂ emissions, a 13.5% decrease in average Attained CII, and 66.67% (one phase-up: 47.62%, two phase-up: 14.29%, three phase-up: 4.76%) of the sample group is improved on the rating.

Table 2: Quantitative improvement effect of reducing waiting times

Ship	Actual data			
	Fuel Consumption [ton]	CO ₂ emission [ton]	Attained CII [gCO ₂ /t-nm]	CII Rating
A	18,104.62	57,058.24997	8.998474399	D
B	18,595.88	58,054.32313	9.156594586	D
C	15,187.49	47,476.82266	9.860797273	C
E	4,424.42	13,948.76527	20.29537416	C
F	4,816	15,035.7284	20.46985566	C

MEPC 82/INF.26
Page 4

I	19,210.48	59,976.16383	24.8689225	E					
J	20,766.7	64,790.3226	9.969651246	E					
L	15,829.6	49,596.3764	9.33937592	E					
M	13,831.1	43,249.7766	8.954266608	C					
N	15,115.2	47,232.64	9.622828834	C					
P	10,502.53	32,865.84748	10.47810727	C					
R	11,763.16	36,683.19254	9.340025948	C					
S	16,511.9	51,554.3102	17.08701649	E					
T	17,819.83	55,618.80104	8.522787378	C					
W	3,351.13	10,555.88096	27.77089823	E					
X	13,370.14	41,692.29937	9.502026219	C					
Z	17,978.29	56,077.21457	7.374347341	C					
AA	3,178.65	9,979.7383	27.17939914	D					
AB	3,519.94	11,033.06844	25.2017553	D					
AC	2,743.43	8,597.17738	24.049927	D					
AE	20,897.55	65,126.68666	8.88153255	D					
Ship	Scenario 1 (30% reduction of waiting time)				Scenario 2 (50% reduction of waiting time)				
	Fuel Consumption [ton]	CO ₂ emission [ton]	Attained CII [gCO ₂ /t-nm]	CII Rating	Fuel Consumption [ton]	CO ₂ emission [ton]	Attained CII [gCO ₂ /t-nm]	CII Rating	
	A	17,032.6	53,679.8	8.465669438	C	16,370.0	51,591.5	8.136330866	C
	B	16,355.8	51,060.9	8.053557663	C	15,079.9	47,078.0	7.425351764	C
	C	14,386.2	44,971.8	9.340513104	C	13,886.7	43,410.4	9.01620323	C
	E	41,02.0	12,932.2	18.81632507	C	3,906.2	12,315.1	17.91833503	B
	F	4,470.9	13,958.4	19.00311451	C	4,261.1	13,303.2	18.11116104	C
	I	18,337.2	57,249.6	23.73836787	E	17,787.6	55,533.9	23.02696074	E
	J	19,610.2	61,182.0	9.414418957	E	18,892.0	58,941.4	9.069640313	D
	L	14,643.1	45,878.8	8.639322603	D	13,924.6	43,627.9	8.215457896	D
M	12,908.8	40,365.7	8.357154602	B	12,344.2	38,600.3	7.991658928	B	
N	14,157.6	44,240.3	9.013190713	C	13,568.9	42,400.6	8.638394737	B	
P	9,779.9	30,604.6	9.757186532	B	9,338.8	29,224.3	9.317132724	B	
R	11,480.3	35,801.0	9.115406652	C	11,297.3	35,230.4	8.97013217	C	
S	15,005.5	46,851.0	15.52817034	E	14,113.0	44,064.2	14.60452601	E	

T	16,524.9	51,577.2	7.90347 5359	B	15,738.5	49,122.8	7.52736 1684	B
W	2,875.0	9,056.1	23.8252 813	C	2,611.8	8,227.1	21.6443 3091	C
X	12,926.1	40,307.5	9.18642 7057	C	12,642.2	39,422.3	8.98468 3028	C
Z	16,155.2	50,390.7	6.62655 1413	B	15,089.7	4,7067.1	6.18948 4388	B
AA	2,590.7	8,133.6	22.1516 4821	C	2,284.9	7,173.6	19.5371 1374	B
AB	3,141.3	9,846.4	22.4911 1367	C	2,921.9	9,158.5	20.9199 4226	B
AC	2,118.6	6,639.2	18.5725 8694	B	1,813.6	5,683.5	15.8990 1049	A
AE	19,682.0	61,338.6	8.36493 5014	D	18,929.7	5,8993.9	8.04517 8943	D
Ship	Scenario 3 (70% reduction of waiting time)				Scenario 4 (100% reduction of waiting time)			
	Fuel Consumption [ton]	CO ₂ emission [ton]	Attained CII [gCO ₂ /t-nm]	CII Rating	Fuel Consumption [ton]	CO ₂ emission [ton]	Attained CII [gCO ₂ /t-nm]	CII Rating
A	15,745.3	49,622.7	7.82584 334	B	14,873.3	46,874.4	7.39240 5506	B
B	13,947.8	43,543.5	6.86788 184	B	12,474.5	38,943.9	6.14241 7779	A
C	13,412.7	41,928.8	8.70849 5169	B	12,746.1	39,844.8	8.27564 9728	B
E	3,724.1	11,741.0	17.0831 2746	B	3,474.0	10,952.4	15.9356 9939	B
F	4,065.6	12,693.1	17.2805 6362	B	3,796.8	11,853.7	16.1378 4354	B
I	17,262.4	53,894.2	22.3470 6079	E	16,517.2	51,567.5	21.3823 1244	E
J	18,212.6	56,821.6	8.74346 0525	D	17,260.1	53,850.1	8.28622 0674	C
L	13,257.8	41,538.6	7.82203 8484	C	12,343.9	38,675.3	7.28285 5675	C
M	11,815.9	36,948.3	7.64962 6402	A	11,084.8	34,662.2	7.17632 5895	A
N	13,016.1	40,673.4	8.28649 9552	B	12,248.3	38,273.9	7.79764 5609	B
P	8,926.9	27,935.3	8.90619 118	B	8,358.4	26,156.1	8.33894 1881	A
R	11,118.7	34,673.4	8.82830 3128	C	10,858.6	33,862.3	8.62178 4456	B
S	13,297.7	41,518.9	13.7609 0608	D	12,201.2	38,095.3	12.6262 0964	C
T	15,007.0	46,839.4	7.17747 0818	B	14,001.7	43,701.7	6.69666 4483	A

MEPC 82/INF.26
Page 6

W	2,383.2	7,507.0	19.7496 9259	B	2,092.7	6,591.9	17.3422 6	A
X	12,367.6	38,566.0	8.78951 2533	C	11,972.1	37,332.8	8.50846 83	B
Z	14,126.2	44,061.8	5.79427 4708	A	12,845.1	40,066.1	5.26882 9835	A
AA	2,030.2	6,374.1	17.3595 5798	A	1,721.2	5,403.9	14.7173 4538	A
AB	2,724.7	8,540.3	19.5078 363	B	2,464.3	7,724.1	17.6434 0795	A
AC	1,570.1	4,920.2	13.7637 7446	A	1,287.4	4,034.2	11.2854 8419	A
AE	18,219.6	56,781.1	7.74341 2876	C	17,227.2	53,688.2	7.32163 0458	C

Needs for cooperation between ship and port

8 Candidate short-term measures of the *Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships* (resolution MEPC.304(72)) and other candidate mid-term GHG reduction measures of the *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships* (2023 IMO GHG Strategy)(resolution MEPC.377(80)) include analyzing and considering measures to encourage port development and activities to reduce GHG emissions, including the supply of electricity from renewable energy, infrastructure to support the supply of zero or near-zero GHG emission fuels and/or energy sources, and optimization of logistics chains and plans.

9 In addition to improving fuel consumption and CII, it will be necessary to consider cooperation between ships and ports in the mid- to long-term to achieve the level of ambition of the 2023 IMO GHG Strategy and to establish an alternative fuel supply infrastructure as part of a basket of candidate mid-term measures.

Action requested of the Committee

10 The Committee is invited to note the information contained in this document.

MEPC 82/INF.26

2. 대기시간 시나리오별 CII 변화분석 결과

1) 시나리오_{Base}: 대기시간 감소가 없는 경우

선박	평균선속	연료소모량	CO ₂ 배출량	CII 달성값	CII 등급		
					'25	'30	'35
A	13.90	18104.62	57058.2	8.998474399	D	E	E
B	14.93	18595.88	58054.3	9.156594586	E	E	E
C	14.55	15187.49	47476.8	9.860797273	D	E	E
D	13.29	3089.77	9752.7	17.65685185	C	D	E
E	13.11	4424.42	13948.8	20.29537416	D	E	E
F	12.45	4816	15035.7	20.46985566	D	E	E
G	13.90	18799.1	58659.4	4.599427675	B	C	D
H	10.34	4210.03	13145.6	15.86696838	B	C	D
I	14.62	19210.48	59976.2	24.8689225	E	E	E
J	15.41	20766.7	64790.3	9.969651246	E	E	E
K	12.30	4037.72	12678.1	19.76083145	C	D	E
L	14.73	15829.6	49596.4	9.33937592	E	E	E
M	14.75	13831.1	43249.8	8.954266608	C	D	E
N	12.81	15115.2	47232.6	9.622828834	D	E	E
O	13.68	4404.857	13766.3	17.56310515	C	D	E
P	14.24	10502.53	32865.8	10.47810727	C	D	E
Q	13.28	10083.41	31481.3	7.7304561	B	C	D
R	14.91	11763.16	36683.2	9.340025948	C	D	E
S	15.25	16511.9	51554.3	17.08701649	E	E	E
T	15.97	17819.83	55618.8	8.522787378	C	D	E
U	15.74	21111.6	65854.0	5.210755511	C	D	E
V	15.61	20176.47	62950.3	5.020623562	B	C	E
W	10.66	3351.13	10555.9	27.77089823	E	E	E
X	15.10	13370.14	41692.3	9.502026219	C	E	E
Y	15.06	8158.39	25441.3	13.29489429	C	D	E
Z	14.45	17978.29	56077.2	7.374347341	C	D	E
AA	10.52	3178.65	9979.7	27.17939914	E	E	E
AB	11.21	3519.94	11033.1	25.2017553	D	E	E
AC	12.28	2743.43	8597.2	24.049927	D	E	E
AD	10.08	2773.77	8724.2	19.07530178	C	D	E
AE	10.56	20897.55	65126.7	8.88153255	E	E	E

2) 시나리오_{30%}: 대기시간 30% 감소한 경우

선박	최적선속	연료소모량	CO ₂ 배출량	CII 달성값	CII 등급		
					'25	'30	'35
A	13.48	17032.6	53679.8	8.465669438	C	D	E
B	14.00	16355.8	51060.9	8.053557663	C	E	E
C	14.16	14386.2	44971.8	9.340513104	C	D	E
D	13.01	2959.1	9340.3	16.91026386	C	D	E
E	12.62	4102.0	12932.2	18.81632507	C	D	E
F	11.99	4470.9	13958.4	19.00311451	C	D	E
G	13.52	17800.9	55544.7	4.355204887	B	C	D
H	10.15	4061.3	12681.2	15.30642212	B	C	D
I	14.29	18337.2	57249.6	23.73836787	E	E	E
J	14.98	19610.2	61182.0	9.414418957	E	E	E
K	12.04	3868.1	12145.4	18.93050524	B	C	E
L	14.17	14643.1	45878.8	8.639322603	E	E	E
M	14.25	12908.8	40365.7	8.357154602	B	C	E
N	12.40	14157.6	44240.3	9.013190713	C	D	E
O	12.98	3963.1	12385.6	15.80155934	B	C	D
P	13.74	9779.9	30604.6	9.757186532	C	D	E
Q	13.10	9811.0	30630.7	7.521582452	B	C	D
R	14.73	11480.3	35801.0	9.115406652	C	D	E
S	14.54	15005.5	46851.0	15.52817034	E	E	E
T	15.38	16524.9	51577.2	7.903475359	C	D	E
U	15.30	19944.2	62212.6	4.92262696	B	C	D
V	14.79	18118.2	56528.5	4.508447425	B	C	D
W	9.88	2875.0	9056.1	23.8252813	D	E	E
X	14.85	12926.1	40307.5	9.186427057	C	D	E
Y	14.84	7928.3	24723.9	12.91997945	C	C	E
Z	13.70	16155.2	50390.7	6.626551413	C	C	E
AA	9.50	2590.7	8133.6	22.15164821	C	D	E
AB	10.59	3141.3	9846.4	22.49111367	C	D	E
AC	10.79	2118.6	6639.2	18.57258694	B	C	D
AD	9.54	2485.2	7816.6	17.09076761	B	C	D
AE	10.25	19682.0	61338.6	8.364935014	D	E	E

3) 시나리오_{50%}: 대기시간 50% 감소한 경우

선박	최적선속	연료소모량	CO ₂ 배출량	CII 달성값	CII 등급		
					'25	'30	'35
A	13.22	16370.0	51591.5	8.136330866	C	D	E
B	13.45	15079.9	47078.0	7.425351764	C	D	E
C	13.91	13886.7	43410.4	9.01620323	C	D	E
D	12.82	2876.6	9079.8	16.43854011	B	C	E
E	12.32	3906.2	12315.1	17.91833503	C	D	E
F	11.71	4261.1	13303.2	18.11116104	C	D	E
G	13.28	17179.0	53604.0	4.203039305	A	B	C
H	10.03	3966.5	12385.1	14.94906676	B	C	D
I	14.07	17787.6	55533.9	23.02696074	E	E	E
J	14.70	18892.0	58941.4	9.069640313	E	E	E
K	11.87	3760.8	11808.7	18.40569363	B	C	D
L	13.81	13924.6	43627.9	8.215457896	D	E	E
M	13.93	12344.2	38600.3	7.991658928	B	C	D
N	12.14	13568.9	42400.6	8.638394737	C	D	E
O	12.55	3704.5	11577.4	14.77044438	A	B	C
P	13.43	9338.8	29224.3	9.317132724	B	C	D
Q	12.98	9635.4	30082.6	7.387001395	A	B	C
R	14.61	11297.3	35230.4	8.97013217	C	D	E
S	14.10	14113.0	44064.2	14.60452601	E	E	E
T	15.01	15738.5	49122.8	7.527361684	B	C	D
U	15.02	19219.0	59950.3	4.743617304	B	C	D
V	14.29	16916.2	52778.1	4.20934001	A	B	C
W	9.41	2611.8	8227.1	21.64433091	C	D	E
X	14.69	12642.2	39422.3	8.984683028	C	D	E
Y	14.70	7780.3	24262.3	12.67877824	B	C	E
Z	13.24	15089.7	47067.1	6.189484388	B	C	D
AA	8.92	2284.9	7173.6	19.53711374	B	C	D
AB	10.21	2921.9	9158.5	20.91994226	C	D	E
AC	9.99	1813.6	5683.5	15.89901049	A	B	C
AD	9.21	2317.1	7288.0	15.9349746	A	B	C
AE	10.05	18929.7	58993.9	8.045178943	D	E	E

4) 시나리오_{70%}: 대기시간 70% 감소한 경우

선박	최적선속	연료소모량	CO ₂ 배출량	CII 달성값	CII 등급		
					'25	'30	'35
A	12.96	15745.3	49622.7	7.82584334	C	D	E
B	12.93	13947.8	43543.5	6.86788184	B	C	D
C	13.68	13412.7	41928.8	8.708495169	C	D	E
D	12.65	2797.4	8830.0	15.98628312	B	C	D
E	12.03	3724.1	11741.0	17.08312746	B	C	E
F	11.44	4065.6	12693.1	17.28056362	B	C	E
G	13.05	16589.0	51763.3	4.05871133	A	B	C
H	9.92	3874.9	12099.3	14.60408148	B	C	D
I	13.86	17262.4	53894.2	22.34706079	E	E	E
J	14.43	18212.6	56821.6	8.743460525	D	E	E
K	11.71	3658.0	11485.8	17.90240738	B	C	D
L	13.48	13257.8	41538.6	7.822038484	D	E	E
M	13.63	11815.9	36948.3	7.649626402	B	C	D
N	11.89	13016.1	40673.4	8.286499552	B	C	D
O	12.14	3470.4	10845.7	13.83705898	A	B	C
P	13.13	8926.9	27935.3	8.90619118	B	C	D
Q	12.87	9464.5	29549.2	7.256000306	A	B	C
R	14.49	11118.7	34673.4	8.828303128	C	D	E
S	13.69	13297.7	41518.9	13.76090608	E	E	E
T	14.66	15007.0	46839.4	7.177470818	B	C	D
U	14.75	18532.6	57809.1	4.574197461	B	C	D
V	13.83	15829.9	49389.0	3.939040308	A	A	B
W	8.99	2383.2	7507.0	19.74969259	B	C	D
X	14.53	12367.6	38566.0	8.789512533	C	D	E
Y	14.57	7636.4	23813.5	12.44426894	B	C	D
Z	12.81	14126.2	44061.8	5.794274708	A	B	C
AA	8.41	2030.2	6374.1	17.35955798	A	B	C
AB	9.86	2724.7	8540.3	19.5078363	B	C	D
AC	9.29	1570.1	4920.2	13.76377446	A	A	A
AD	8.91	2165.6	6811.2	14.89258054	A	B	C
AE	9.86	18219.6	56781.1	7.743412876	D	E	E

5) 시나리오_{100%}: 대기시간 100% 감소한 경우

선박	최적선속	연료소모량	CO ₂ 배출량	CII 달성값	CII 등급		
					'25	'30	'35
A	12.60	14873.3	46874.4	7.392405506	B	C	D
B	12.23	12474.5	38943.9	6.142417779	A	B	C
C	13.33	12746.1	39844.8	8.275649728	B	C	D
D	12.39	2684.7	8474.2	15.34210608	B	C	D
E	11.62	3474.0	10952.4	15.93569939	B	C	D
F	11.05	3796.8	11853.7	16.13784354	B	C	D
G	12.72	15759.6	49175.0	3.855769476	A	B	C
H	9.75	3743.5	11688.8	14.10857162	A	B	C
I	13.56	16517.2	51567.5	21.38231244	E	E	E
J	14.05	17260.1	53850.1	8.286220674	D	E	E
K	11.47	3511.5	11025.7	17.18531909	B	C	D
L	13.01	12343.9	38675.3	7.282855675	C	D	E
M	13.20	11084.8	34662.2	7.176325895	A	B	C
N	11.53	12248.3	38273.9	7.797645609	B	C	D
O	11.59	3158.7	9871.8	12.59453175	A	A	B
P	12.70	8358.4	26156.1	8.338941881	A	B	C
Q	12.70	9216.6	28775.2	7.065937305	A	B	C
R	14.32	10858.6	33862.3	8.621784456	C	D	E
S	13.11	12201.2	38095.3	12.62620964	D	E	E
T	14.16	14001.7	43701.7	6.696664483	A	B	C
U	14.36	17569.9	54806.2	4.336592542	A	B	C
V	13.18	14386.7	44886.2	3.579915703	A	A	B
W	8.43	2092.7	6591.9	17.34226	A	B	C
X	14.29	11972.1	37332.8	8.5084683	C	C	E
Y	14.37	7427.9	23163.4	12.10451885	B	C	D
Z	12.21	12845.1	40066.1	5.268829835	A	B	C
AA	7.74	1721.2	5403.9	14.71734538	A	A	B
AB	9.38	2464.3	7724.1	17.64340795	A	B	C
AC	8.41	1287.4	4034.2	11.28548419	A	A	A
AD	8.48	1964.6	6179.2	13.51080609	A	A	B
AE	9.59	17227.2	53688.2	7.321630458	C	D	E

3. 선행연구 검토 목록

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
선행 연구 (국내)	1 온실가스 감축규제 대응에 따른 산업계 부담 비용 계량화	계량분석 (비용모형)	• 국내 선대 EEXI 충족 현황 • 해운산업계의 추가적인 부담 비용추정
	2 탄소중립을 위한 항만의 실천적 계획수립 및 경쟁력 강화방안 제시	문헌검토 (선행연구)	• 국내외 기후변화 추진 동향 및 사례 • 탄소중립 규제에 대한 항만문제점과 대응방안
	3 규제 이행 관점에서 해운산업 관련 국내 법령의 문제점 식별 및 개선방안 제시	문헌검토 (법령 분석)	• 온실가스 배출규제 현황과 문제점 • 온실가스 규제의 국내 이행을 위한 개선방안
	4 IMO 단기조치 비규제 대상 선종의 온실가스 감축방안 모색	규제 산정식 계산	• 현존선 온실가스 감축을 위한 기술적 조치 • 선박에너지 효율지수 기준 충족방안 제시
	5 중국의 사례 분석을 통한 한국의 정책적 대응에 대한 시사점 제시	사례연구	• 국제법상 선박기인 온실가스 배출규제 • 중국의 IMO 규제 대응정책 및 법적 쟁점
	6 해운의 탄소중립을 위한 대체연료로서 암모니아 활용가능성 및 기술 분석	문헌검토 (선행연구)	• 해상 연료로서의 암모니아 특징과 암모니아 추진 엔진의 오염물질 검토 • 암모니아 추진 엔진 오염물질 제어기술
	7 탄소중립을 위한 친환경 선박 인증제도 개선방향 제안	문헌검토 (법령 분석)	• 국내 친환경 선박 계획 및 법령 검토 • 온실가스 규제 충족을 위한 친환경 선박 인증기준 개선사항 분석 및 개선안 제시
	8 IMO 환경규제 충족 지원방안 및 해운기업의 대응방안 분석	문헌검토 (선행연구)	• 친환경 해운을 위한 국제 규제 • 국내 해운 관련 법제 및 제도적 개선방안 • 조선 및 해운기업에서 가능한 조치방안
	9 해운-조선산업의 EEXI 및 CII에 대한 전략적인 대응방안 제안	계량분석 (비례위험평가)	• IMO 선박 온실가스 감축전략 수립과 규제가 폐선 확률에 미치는 영향 • 폐선 확률에 대한 영향의 효과와 전망
	10 EEXI 및 CII 발효에 따른 용선계약상의 문제점과 해결방안 제시	문헌검토 (선행연구)	• EEXI 및 CII 도입 배경 및 규제 내용 • EEXI 및 CII를 둘러싼 용선계약 조항과 분쟁 가능성 검토 • 분쟁을 해소할 수 있는 계약 체결방안 제시
	11 CII의 효율적 대응을 위한 협약(MARPOL) 요구사항 및 기술적 지침 제공	문헌검토 (협약 분석)	• SEEMP 개정 및 CII 산정 절차 • CII 규제 대응방안 개발을 위한 고려사항

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
선행 연구 (국외)	12	대형선 배선비용 증가에 따른 재항시간 및 선석점유율 변화 분석	시뮬레이션	• 선박별 접안 우선순위와 선석운영 및 접안 우선순위를 검토해 선석점유율 비교
	13	선박의 ETA/RTA 예측을 통한 항만 정시성 개선	예측모델	• 선박의 이동경로 예측과 선박 이동경로에 따른 이동시간 예측
	14	LNG 병커링기지 운영이 부산신항 입출항 컨테이너선 정시성에 미치는 영향 검토	확률분석	• LNG선 운항 패턴기반 정시성 컨테이너선 운항지연 빈도 추정
	1	CII 고등급 확보를 위한 저속운항 효과	알고리즘 분석 (파이썬)	• 선박 성능, 저항, 항로, 날씨 등을 고려한 선속별 항해 시뮬레이션 • 계절, 선속에 따른 에너지 저감 변화
	2	시나리오별 주기관 크기와 최적선속에 따른 EEXI 및 CII 변화 분석	시나리오 분석	• 5개 선종(벌크선, 가스운반선, 탱커, 일반 화물선, 컨테이너선)에 대해 7가지 시나 리오 시험 • EEXI 및 CII 충족요건 제시
	3	극지 운항선박의 CII 적용가능성 조사	성능 모델링, 사례조사, 민감도 평가	• 극지해역 운항선박의 CII 평가 • 극지 데이터 및 경제적 속도를 적용한 CII 모델링 및 경로 최적화 • CII의 운항경로 영향 및 민감도 평가
	4	재화중량톤수와 실제 화물운송량을 적용한 CII 차이 분석	데이터 분석, 시나리오 분석	• EU-MRV의 실제 선종별 화물운송량 데 이터적용한 CII 계산 및 등급 분석 • 실제 화물운송량 기반 CII 비교분석과 2030년까지의 CII 등급 변화 분석
	5	CII가 선박 운항에 미치는 영향과 선상 운항적 조치의 분석	사례조사, 규제 산정식	• 4척 선박에 대한 연간 항로 분석 및 CII 평가 • CII에 영향을 미치는 요소 분석
	6	극해 운항선박 대상 선박 추진시스템 개조를 통해 CII 변화 분석	모델링 (Weibull 확률), 비용편익분석	• VLSFO 공급 추진시스템의 LNG 개조에 따른 비용(세금, 보험, 유지 보수, 이자율, 감가상각, 재판매 및 기회비용) 분석 • 개조에 최적 선령, 해결과제 및 위험성 분석
	7	CII 평가를 고려한 모든 전기선박의 동력시스템 환경적 성능 분석	알고리즘 분석	• 다양한 선박용 연료별 동력시스템 시뮬레 이션(디젤 발전기, 배터리 에너지저장시스 템, 연료 전지 및 수소 저장시스템) 분석 • CO ₂ 배출량, 장비 무게 및 부피 등의 성능 지표를 기준으로 예비설계 솔루션 식별

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
8	CII 규제 준수를 위한 선박의 운항적 효율 최적화 방안 도출	모델링 (비선형해석), 사례연구	- 선박 특성, 항로 특성, 운항 제약 등 요소를 고려한 선박 일정 최적화 분석 - 기존 선대의 단기적 업그레이드를 위한 운항 효율 최적화 접근법 제시
9	북동부 항로 개발의 CII 등급 개선효과 분석	머신러닝	선박 관련 요소별 상관관계 분석 및 탄소집약도 예측 모델을 통한 등급 비교분석
10	센서 및 기상데이터 기반 선박의 탄소집약도 예측방안 제시	머신러닝 (인공신경망, 회귀 등)	2400 TEU 컨테이너선의 기계학습을 적용해 5개 CII 예측 모델 개발 및 비교분석 - 누적 탄소배출 강도, 누적거리, 해수온도, 파도 기간 등과 CII 상관관계 분석
11	운항/환경적 불확실성을 고려한 탄소집약도 평가를 위한 디지털트윈 접근법 제안	머신러닝 (정상상태 모델)	네덜란드 왕립 해군의 원양선박 대상 디지털 트윈기법을 활용한 하이브리드 추진시스템의 연료소비량과 탄소발자국 예측 효과성 검증
12	석유제품 운반선의 CII 감소를 위한 탄소감축 프로그램 이행전략 제안	문헌검토, 규제 산정식 계산	- CII 및 SEEMP 규제와 석유제품 운반선 특징 - 문헌검토 및 실제 선박 대상 CII 계산 - 최적운항, 기상, 정시성 등의 결합에 따른 2025년 최소 CII 달성방안 가능성 제시
13	해양환경 보호를 위한 내항선의 EEXI 및 CII 이행 검토	문헌검토, 비용효과 분석	19척의 탱커선과 5척의 컨테이너선 대상 운항 데이터 분석 및 증거기반 시사점 제시
14	풍력보조장치 적용 CII 감소하기 위한 선박 항로 프레임워크 제안	A* 알고리즘, 사례분석	A* 알고리즘을 통한 중국-중동 항해 VLCC 선박 대상 풍력보조장치 적용효과 분석
15	단기조치의 부정적인 영향분석과 중장기 조치의 채택 시급성 분석	문헌검토, 사례분석	선주의 관점에서 관련 기술·경제적 의미를 조사하고 6개의 준수 옵션이 6척 컨테이너선 미치는 영향을 추정
16	실시간 탈탄소화 규제 준수를 위한 디지털트윈 지원 프레임워크 제안	디지털트윈, 동적 프로그래밍 알고리즘	데이터기반 항로 모델, 물리 모델, 유연성 예측 모델을 적용한 디지털트윈 기술의 항로 의사결정 지원 효과 검토
17	다양한 항로별 실제 항해 조건에 따른 저속운항의 효과 분석	수치 시뮬레이션	Post Panamax 컨테이너선 1척 및 컨테이너선 4척 대상 실제 항해 조건에 따른 저속운항의 장점 분석
18	컨테이너선의 EEXI 및 CII 규제	모델링	2500~15,000 TEU 컨테이너선 대상 선

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
	충족과 경제성 확보를 위한 선속 감소방안 검토	사례연구	속 감소에 따른 환경적, 경제적 변화 분석
19	에너지 효율 개선을 위한 운항적 조치에 대한 선원의 역할과 도전과제 제언	문헌검토, 설문조사	전 세계 46개 해운 회사의 선원, 선박 관리자 및 운항관리자들의 선박 에너지 효율 개선을 위한 각자의 역할 및 애로사항 식별
20	선박의 에너지 효율적인 운항을 위한 기후 변화 완화에 매우 중요한 에너지 효율적인 선박 운항을 달성하기 위한 선원들의 중추적인 역할 탐구	체계적인 문헌고찰 (PRISMA method)	10년에 걸쳐 58개의 기사를 분석하고 지식, 인식, 교육, 보상, 사회적 요인, 기술 및 참여 장벽을 포함한 주요 영향 요인을 식별 - 이해 관계자, 특히 선주, 선박 관리자 및 선원 간의 협력 노력은 재정적 인센티브와 규제 프레임워크를 강조
21	선도착 선박 선처리(FCFS) 방식의 선박 도착시스템(VAS)과 정시 도착 (JIT) 비교	문헌검토, 사례조사	JIT 장애요소 식별과 중장기적 JIT 메커니즘 효과 분석
22	이해관계자 협업 기반 STM으로 정시 도착(JIT) 활성화가 필요한 이유 분석	시나리오 분석	선박 33척의 AIS 기반 정시 도착 장벽이 미치는 영향분석과 해결을 통한 잠재적 절감 평가
23	발틱해에 적용하기 위한 항만 활동 애플리케이션 개발과 결과 제시	비즈니스 모델 개발	CO₂ 배출과 환경 문제를 해소하기 위해 개선된 비즈니스 모델과 로직을 개발하여 실제 항만 운영환경에서 테스트베드 수행
24	과거 항해경로 패턴 분석에 따른 부산신항 컨테이너선 ETA 예측방법 제안	모델링, 알고리즘 분석	- AIS 데이터를 입력해 선박의 최소 ETA 오류를 선출하는 최적의 매개변수 결정 - 터미널운영시스템의 ETA와 선박 AIS의 ETA의 정확도를 개선한 알고리즘 개발 및 평균절대오차 확인을 통해 효과 입증

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024

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 수급관리 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	이채령
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

Ⅰ 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

Ⅰ 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, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

Ⅰ 2023년

01	해양수산업 조기경보지수 개발 - 컨테이너 해운시장을 중심으로	권장한
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구(Ⅲ) - 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 2024-11

접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석

인쇄 2024년 12월 29일

발행 2024년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

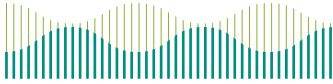
연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 더크리P&B (주) (02-737-5377)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 6,000원



접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석

A Study on Changes in the Carbon Intensity Index (CII)
Resulting from the Reduction of Waiting Times for Port Berths



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

TEL. 051-797-4800

FAX. 051-797-4810



9 791168 662315

ISBN 979-11-6866-231-5



93300

값 6,000원