

항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구

A Study on Implementation and Management Standards
for Reaching Carbon Neutrality in Ports

안용성 · 김주형 · 안승현 · 김성아 · 이해령 · 이향숙



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	안용성, 김주형, 안승현, 김성아, 이혜령, 이향숙
내부연구진	연구책임자 안용성 한국해양수산개발원 해양연구본부 부연구위원 공동연구원 김주형 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구원 안승현 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원 공동연구원 김성아 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원 공동연구원 이혜령 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원
외부연구진	공동연구원 이향숙 인천대학교 동북아물류대학원 교수

연구기간	2022. 5. 30. ~ 2022. 11. 29.
-------------	------------------------------

보고서 집필내역

연구책임자	안용성 연구총괄, 제1장, 제2장 제1절, 제3절, 제4장, 제5장
내부연구진	김주형 제3장 제1절 일부, 제2절 일부 안승현 제3장 제2절 일부 김성아 제3장 제1절 일부 이혜령 제3장 제2절 일부
외부연구진	이향숙 제2장 제2절

산·학·연·정 연구자문위원	정장표 경성대학교 환경공학과 교수 이창민 해양수산부 해양환경정책과 사무관
---------------------------	---

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

최근 국내외 항만은 기존 항만 활동의 가치 증대를 위한 운영의 효율화와 더불어, 환경의 지속가능성 개선을 위한 새로운 도전에 직면하고 있다. 특히 탄소중립의 구현을 위한 전 사회적 노력의 일환으로, 항만 역시 주어진 시한 내에 혁신적인 기술·정책의 개발 및 도입으로 새로운 배출제로 패러다임을 구현해야 하는 상황이다.

본 연구는 지구의 온난화 수준을 1.5°C 이내로 억제할 수 있는 유일한 방안, 즉 탄소중립 추진을 위한 국내외 규범에서 설정된 목표 및 시한, 요구 수준에 비해 현재 기술 및 정책의 수준이 충분치 않은 상황에서, 정부는 물론 항만당국, 지방자치단체 및 항만산업 이해관계그룹 등 주요 이행주체가 불확실성을 최소화하는 이행전략을 마련하고, 이를 효과적으로 수행하기 위한 최적의 방안을 마련하는 데에 실제적인 지침 및 근거를 제공하고자 하였다.

이를 위해, 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이들의 유형별 분류체계, 그리고 추후 이행성과를 점검·평가하기 위한 핵심 지표를 도출하여 표준(안)의 형태로 제시하였다. 이는 아직까지 본격적으로 논의된 바 없는 ‘항만 탄소중립’의 개념적 정의 및 분석, 이를 구현하기 위해 적용 가능한 실제 요구사항 및 원칙, 그리고 이를 구현하기 위한 전략적 추진·관리체계 등에 대한 최초의 연구성과라 할 수 있다. 특히, 아직 항만의 탄소중립을 위한 일관된 방법론이나 기준, 원칙 등이 정립되지 못한 상황에서, 기술 및 정책의 불확실성을 최소화하는 한편 정해진 목표 시한 내에 항만의 탄소중립을 구현하기 위한 실효적 이행·관리 패러다임을 제시했다는 데에 큰 의의가 있다고 하겠다.

여러 어려움이 따르는 선도적 연구를 성공적으로 수행한 안용성 부연구위원과 연구진으로 참여한 김주형 전문연구원, 안승현 전문연구원, 김성아 전문연구원, 이혜령 전문연구원, 그리고 공동 연구진으로 참여하여 연구의 내용 및 성과를 보다 충실하게 보완해준 이향숙 교수(인천대학교)의 노고에 깊이 감사를 드린다.

마지막으로, 본 연구의 성과 및 경험이 항만의 탄소중립 구현을 위한 정부 및 항만 당국, 지방자치단체의 정책 및 제도 마련, 이를 위한 정책·기술 기반 생태계 조성에 주요 기초를 제공함은 물론, 추후 급성장할 것으로 예상되는 친환경 항만 서비스 시장을 주도하는 초격차 선도분야 개발에 기여하기를 바란다.

2022년 11월
한국해양수산개발원
원장 김 중 덕

목차

정책제안 _i

요약 _v

Executive Summary _xxi

01

서론_1

제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	5
제2절 연구 내용 및 방법	7
1. 연구 범위 및 주요내용	7
2. 연구 방법	11
제3절 선행 연구	12
1. 선행 연구	12
2. 본 연구의 차별성	15

02

항만 탄소중립의 개념_17

제1절 탄소중립의 개념	18
1. 배경	18
2. 탄소중립	22
제2절 국내외 관련 규범 비교	25
1. 국가별 탄소중립 추진방향	25
2. 국가별 탄소중립 목표	31
3. 관련 법령	35

제3절 항만의 탄소중립	38
1. '항만 탄소중립'의 개념 도출	38
2. 항만 탄소중립과 대기환경 관리의 연계	44

03 국내외 사례별 구성요소의 식별_47

제1절 관련 지침 사례	48
1. 유럽항만기구(ESPO)	48
2. 한국형 녹색분류체계 가이드라인	54
제2절 주요 항만의 이행사례	61
1. 유럽	61
2. 미국	66
3. 일본, 기타큐슈항(北九州港)	72
4. 중국, 상하이항(上海港)	77
5. 국내, 부산항	82

04 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)_89

제1절 개요	91
1. 항만 탄소중립 이행·관리활동의 개념	91
2. 대상 및 범위	92
제2절 유형별 분류	95
1. 항만 탄소중립 이행·관리체계 구축	95
2. 항만의 배출 저감·관리	104
3. 종합	109
제3절 도입·활용방안	112
1. 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련	112
2. 이행점검 체계 개발 및 적용	115

05

결론_117

제1절 결론	117
제2절 정책 제언	120
1. 항만 탄소중립 이행·관리체계의 구축	120
2. 배출 모니터링 강화	122
3. 항만 탄소중립 구현을 위한 기술 선도 프로그램 출범	124
제3절 연구의 한계	126

참고문헌 _129

표 목차

〈표 1-1〉 연구의 목적	6
〈표 1-2〉 항만 탄소중립의 개념 구체화	9
〈표 1-3〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구성요소 식별	9
〈표 1-4〉 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안) 도출	10
〈표 1-5〉 선행 연구 검토	13
〈표 2-1〉 국가별 탄소중립 개념 및 대상 온실가스	24
〈표 2-2〉 국가별 탄소중립 비전 비교	30
〈표 2-3〉 국가별 탄소중립 목표 비교	33
〈표 2-4〉 국내외 탄소중립 관련 법령	37
〈표 2-5〉 주요 항만 탄소중립 비전 비교	40
〈표 2-6〉 주요 항만 탄소중립 목표 비교	42
〈표 2-7〉 항만 탄소중립과 대기환경 관리 비교	45
〈표 3-1〉 활동 구성요소의 식별: 유럽항만기구(ESPO)	52
〈표 3-2〉 한국형 녹색분류체계의 경제활동(구성요소) 식별 사례	58
〈표 3-3〉 활동 구성요소의 식별: 유럽 주요 항만	64
〈표 3-4〉 The Long-Term Strategy of The United States의 5대 정책 방향	66
〈표 3-5〉 미국의 항만 탄소중립 관련 정책 요약	67
〈표 3-6〉 활동 구성요소의 식별: 미국 주요 항만	70
〈표 3-7〉 기타큐슈항의 수소·암모니아 공급목표	73
〈표 3-8〉 활동 구성요소의 식별: 일본 기타큐슈항	75
〈표 3-9〉 활동 구성요소의 식별: 중국 상하이항	79
〈표 3-10〉 활동 구성요소의 식별: 국내 부산항	86
〈표 4-1〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물질 구분	92
〈표 4-2〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물리적 범위 및 업무경계	93
〈표 4-3〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-1. 배출 모니터링	96
〈표 4-4〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-1. 배출 모니터링	97
〈표 4-5〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-2. 이행·관리전략 수립	98
〈표 4-6〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-2. 이행·관리전략 수립	99
〈표 4-7〉 현재 기준 탄소중립 핵심기술	101
〈표 4-8〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-3. 이행점검 및 결과반영	102

〈표 4-9〉 향만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-3. 이행점검 및 결과반영	103
〈표 4-10〉 향만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-1. 배출 저감·관리(직접) · 104	
〈표 4-11〉 향만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-1. 배출 저감·관리(직접)	106
〈표 4-12〉 향만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-2. 배출 저감·관리(간접) · 106	
〈표 4-13〉 향만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-2. 배출 저감·관리(간접)	108
〈표 4-14〉 향만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의(종합)	109
〈표 4-15〉 향만 탄소중립 이행·관리활동 유형의 구분(종합)	110
〈표 4-16〉 도입·활용방안: 향만의 탄소중립 이행·관리전략 마련	113
〈표 4-17〉 도입·활용방안: 이행점검 체계 개발 및 적용	116
〈표 5-1〉 주요 추진과제: 이행·관리체계의 구축(2023년~)	120
〈표 5-2〉 주요 추진과제: 배출 모니터링 강화(2023년~)	123
〈표 5-3〉 주요 추진과제: 기술 선도 프로그램 출범(2023년~)	125

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구의 주요내용 및 수행과정	7
〈그림 2-1〉 과도한 온실효과(Enhanced Greenhouse Effect) 개념	19
〈그림 2-2〉 The Long-Term Strategy of the United States	26
〈그림 2-3〉 Net Zero Strategy: Build Back Greener	26
〈그림 2-4〉 Draft National Strategy on Spatial Planning and the Environment	27
〈그림 2-5〉 An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China	27
〈그림 2-6〉 항만 탄소중립과 대기환경 관리의 연계	45
〈그림 3-1〉 녹색분류체계 적합성 판단 절차	55
〈그림 3-2〉 한국형 녹색분류체계의 판단기준(예시)	56
〈그림 3-3〉 함부르크항의 탄소중립 추진 계획 및 요소별 저감 목표	62
〈그림 3-4〉 풍력에너지 산업 허브의 4가지 기능	74
〈그림 3-5〉 이동식 AMP 케이블	83
〈그림 3-6〉 디지털 트윈 항만 개념도	85
〈그림 3-7〉 압전발전 시스템 개념도	86
〈그림 4-1〉 항만 탄소중립 이행·관리전략의 수립 과정	100

약어 목록

- AMP: Alternative Maritime Power
- CAAP: Clean Air Action Plan
- CARB: California Air Resources Board
- CNP: Carbon Neutral Port
- COP: Conference of Parties
- CVI: Clean Vessel Incentive
- DAC: Direct Air Capture
- DERA: Diesel Emissions Reduction Act
- DTR: Drayage Truck Registry
- EPA: Environmental Protection Agency
- EPCI: Engineering, Procurement, Construction and Installation
- ESI: Environmental Ship Index
- ESPO: The European Sea Ports Organisation
- HPA: Hamburg Port Authority
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
- LCA: Life Cycle Assessment
- LEDS: Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies
- NAAQS: National Ambient Air Quality Standards
- NDC: Nationally Determined Contribution
- OPS: Onshore Power Supply
- PESO: Port Energy Systems Optimisation
- PPCAC: Pacific Ports Clean Air Collaborative
- SDM: Self Diagnosis Method
- SIPG: Shanghai International Port Group
- SSP: Shared Socioeconomic Pathways

-
- TAP: Technology Advancement Program
 - TRP: Truck Replacement Program
 - VBS: Vehicle Booking System
 - VSR: Vessel Speed Reduction
 - WPCAP: World Ports Climate Action Program
 - WPSP: World Ports Sustainability Program

정책제안

■ 분석 내용 및 방법

1. ‘항만의 탄소중립’의 개념 및 요구 수준 등을 정의하기 위해, 국제기구 및 주요 국가의 탄소중립 관련 규범 및 국내외 주요 항만의 정책 사례, 관리·운영 지침 등에 대한 연구·문헌자료를 수집·조사하고, 주요 키워드별 비교분석(Comparative Analysis) 수행

→ 사례 조사 및 비교분석 결과를 토대로 항만의 탄소중립 구현에 요구되는 활동 및 이를 식별하기 위한 지표, 요구 수준 등의 항만 탄소중립 이행·관리활동 리스트의 초안 준비

※ 분석결과 및 이를 바탕으로 도출한 이행·관리활동 리스트 초안의 신뢰도를 제고하기 위한 방안으로, 국내외 관련 연구그룹 및 실무자들을 대상으로 핵심그룹 인터뷰(FGI) 수행 ; 의견청취 결과를 비교분석 및 활동항목 수정, 유형 재분류 과정에 반영

2. ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’의 실효성을 검증하고 추후 활용의 폭을 확대하기 위해, 해양수산부 유관부서 담당자 및 학계·연구계, 이해관계그룹 전문가를 대상으로 표준(안)의 검토·보완을 위한 실무자-이해관계자 확대 세미나 수행

■ 정책제안

1. 항만 탄소중립 이행·관리체계의 구축

〈표 1〉 주요 추진과제: 이행·관리체계의 구축 (2023년~)

추진 사항	추진 주체
• ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’ 개발 → 개별 항만의 ‘항만 탄소중립 이행·관리전략’ 수립; 기존 전략의 목표, 기준 재조정 → ‘해양수산 탄소중립 로드맵’ 수정·보완 추진 • ‘항만 탄소중립 이행·관리활동 표준체계’ 개발, 적용 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 • ‘항만 탄소중립 이행점검 표준체계’ 개발, 적용 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 → 매년/수시 평가 수행(업데이트), 결과 반영	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 유관부서 협의·공조 필요
• 지방자치단체-항만공사-지방해수청의 ‘공공부문 항만 탄소중립 공동대응체계’ 구축, 운영	지방해양수산청, 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진
• 항만 탄소중립 추진을 위한 민-관 협력 프로그램 구축, 운영	해양수산부 해양환경정책과 등 (국가 차원) 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진(개별 항만/권역별)

자료: 저자 작성

2. 배출 모니터링 강화

〈표 2〉 주요 추진과제: 배출 모니터링 강화 (2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만의 배출 인벤토리 작성 지침 개발 → 「항만 대기질법」에 의한 대기오염물질 배출 인벤토리와 연계, 온실가스를 대상 물질로 추가하여 일원화 → 지침 등 고시, 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 협의·공조 필요 ※ 환경부(국립환경과학원, 온실가스 종합정보센터, 미세먼지 정보센터) 등 관계부처 협의·공조 필요
• 항만별 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 → 매년 수행(업데이트); ‘항만 탄소중립 이행점검’에 반영	관할 지방자치단체, 항만공사 공동 ※ 해양수산부 해양환경정책과

추진 사항	추진 주체
• 항만의 배출 모니터링 기초자료 산정을 위한 유관부처/기관 데이터 연계·공유 방안 마련 → 부처 간 연계·공유 의무화; 대기오염물질 관리와 연계하여 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 해양수산부, 국토교통부의 관련 산하 기관(KOMSA, KR 등) 협의·공조 필요

자료: 안용성 외 (2020), p. 270 내용을 수정하여 저자 재작성

3. 항만 탄소중립 구현을 위한 기술 선도 프로그램 출범

〈표 3〉 주요 추진과제: 기술 선도 프로그램 출범 (2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만 탄소중립 선도기술 개발·지원을 위한 재정 확보 방안 마련 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등
• ‘항만의 탄소중립 구현을 위한 선도기술 프로그램’ 도입·운영 + 항만 탄소중립 구현 기술 분류체계 및 수요조사, 기술 개발·도입 우선순위 도출 등 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 항만운영과, 항만기술안전과 등

자료: 안용성 외 (2020), p. 272 내용을 수정하여 저자 재작성

요 약

항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구

안용성 · 김주형 · 안승현 · 김성아 · 이해령 · 이향숙

1. 연구의 목적

- 지구의 평균온도 상승을 1.5°C 이내로 억제할 수 있는 현재 유일한 방안, 즉 탄소중립의 구현을 위한 목표 수준 및 시한 등은 현재의 기술 수준으로는 달성 불가능함에도, 이는 이미 고정된 상수와 같이 주어진 조건으로 추후 변경의 여지가 거의 없으므로
- 정부 및 항만당국, 지자체 등 주요 이행주체가 기술 및 정책, 환경 등의 불확실성을 최소화하는 동시에 항만의 탄소중립 이행 압력에 효율적·효과적으로 대응하기 위해서는, 요구되는 ‘이행·관리활동의 표준체계’를 마련하여 선행적·체계적으로 접근해야 함
- 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는
 - ① 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 표준(안)을 제시하는 한편, 추후 활동별 이행성과를 점검하기 위한 핵심 지표를 도출하고,
 - ② 이들의 도입 및 활용방안을 제시하고자 하였음

- 국내 항만의 탄소중립 구현을 위한 실질적인 가이드라인 마련의 단초를 제공하는 동시에, 이에 따른 전략적 이행-점검체계의 도입으로 이행·관리의 효과 및 효율성을 획기적으로 제고할 수 있음

〈요약 표 1〉 연구의 목적

연구 목적	기대 효과
• 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 ‘항만의 탄소중립 이행·관리 표준(안)’ 제시 • 추후 주요 요구활동별 이행성과를 점검하기 위한 핵심 지표 도출 • 도입 및 활용방안 제시	• 국내 항만의 탄소중립 구현을 위한 실질적인 가이드라인 마련 → 전략적 이행-점검체계의 도입으로, 항만 탄소중립 이행·관리의 효과 및 효율성을 획기적으로 제고 • 해운 및 항만의 탄소중립을 위한 기술·정책 대안의 불확실성을 최소화할 수 있는 검증 기반 마련 • 주요 이행주체 및 이해관계그룹, 국내외 관련 규범을 효과적으로 이행함은 물론, 궁극적으로는 항만의 탄소중립 구현을 위한 최적 방안 도출 가능

자료: 저자 작성

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구의 방법

- (문헌조사, 비교분석) 탄소중립의 이행을 규정하는 국내외 주요 규범의 현황을 조사하고, 이들에 대해서 키워드별 분류에 따른 비교분석 수행
- ‘탄소중립’의 개념 및 원리의 차이, 이에 따른 목표, 수준 등의 양상을 정리, 분석함
- 항만에 요구되는 ‘항만 탄소중립’의 개념 및 이행·관리 목표 또는 요구 수준 등을 구체화함

- 향만의 탄소중립 이행과 상호연관 및 교차중복의 양상을 보이는 향만 대기 환경 관리와의 연계성을 검토함

〈요약 표 2-1〉 국내외 관련 주요규범 비교분석

구 분	내 용	비 고
향만 탄소중립의 개념 구체화	탄소중립의 개념 검토	• 탄소중립 이행 요구 배경 • 탄소중립의 개념
	국내외 주요 규범 및 이행 전략 현황 조사 및 검토	• 국가별 탄소중립 추진방향 • 국가별 탄소중립 목표 • 관련 규범
	향만 탄소중립의 개념 구체화	• 향만 탄소중립의 개념 및 목표, 요구 수준 등 구체화 • 향만 대기환경 관리와 연계성 검토

자료: 저자 작성

- (문헌조사, 비교분석 및 심층면담) 국제기구 및 주요국가의 가이드라인, 국내외 주요 향만의 이행 현황을 면밀하게 조사·검토하여, ‘향만 탄소중립’의 대상 및 범위를 구체화하고, 이를 구현하기 위해 요구되는 이행·관리활동 요소를 식별하고 세부 활동요소의 속성에 따른 유형 구분
- 연구진의 기존 문헌조사 및 비교분석 결과, 즉 식별 도출된 향만 탄소중립 이행·관리활동 리스트의 초안 검토 및 수정 보완을 위한 국내외 선행 연구 그룹 및 실무자 그룹 대상 심층 인터뷰(FGI) 수행

〈요약 표 2-2〉 향만 탄소중립 이행·관리활동의 구성요소 식별

구 분	내 용	비 고
향만 탄소중립 이행·관리 활동의 구성요소 식별	국내외 향만 탄소중립 이행사례 비교 분석	• 향만 탄소중립 관련 가이드라인 • 국내외 주요 향만의 이행사례
	향만 탄소중립 이행·관리활동의 구성요소 식별	• 적용 대상, 범위 • 주요 속성별 분류 • 속성별 구성요소 식별

자료: 저자 작성

2) 연구의 특징

- 본 연구는 국내외 관련 규범 및 주요 연구 등을 통해, 아직까지 국내외에서 명확하게 규정된 바 없는 ‘항만 탄소중립’과 이를 위한 주요 요구 활동, 그리고 유형의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립
- 이를 바탕으로 국내 항만의 현실에 부합하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’, 즉 탄소중립 이행·관리활동의 유형 및 개념을 구체화하고, 주요 방법론 및 핵심 지표, 표준안의 체계 등을 도출하는 한편, 효과적 이행을 위한 도입 및 활용방안 제시
- 항만의 탄소중립을 이행·점검하기 위한 유효 방법론의 검토, 이에 따른 가용 정책·기술 인벤토리 및 이를 종합하는 표준 이행·점검체계에 대한 논의의 첫걸음으로 평가할 수 있음

〈요약 표 2-3〉 본 연구의 차별성

구 분	선행 연구 검토		
	연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
본 연구	• 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 표준안 및 도입·활용방안 제시	• 국내외 문헌조사 및 비교·분석 - 탄소중립 관련 국내외 주요 규범 - 국내외 주요 항만의 탄소중립 이행사례 • 핵심그룹 인터뷰(FGI), 전문가 세미나	• 국내외 주요 항만의 탄소중립 정책 및 사례 검토 • 항만 탄소중립 이행·관리활동의 개념 정의, 구분에 따른 핵심지표 및 분류체계 도출 • 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안) 제시 • 표준안의 도입 및 활용방안 제시

자료: 저자 작성

3. 연구 결과

1) 항만 탄소중립의 개념

- 항만의 탄소중립
 - 항만의 각종 활동으로 인한 온실가스의 배출을 최대한 저감하고, 적극적인 배출 저감·방지 노력에도 불구하고 기배출된 온실가스를 탄소 포집·저장 기술 등을 연계·활용하여 제거함으로써 ‘항만의 순배출’이 제로화되는 상태
- 항만 탄소중립과 대기환경 관리의 연계

〈요약 표 3-1〉 항만 탄소중립과 대기환경 관리 비교

구 분	항만 탄소중립	항만 대기환경 관리
목 적	지구 온난화 방지	국민/지역사회 보건적 위해 저감
관리 대상 물질	온실가스	대기오염물질
모니터링	• 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성	• 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 • 대기 중 오염농도 측정: 이동·확산모사 • 건강·환경 영향평가 등
	• 대기 중 상호 2차 반응에 의한 연계 전환, 영향 등	
배출저감(직접)	• 배출저감 및 방지 조치의 적용 • 저탄소/배출제로 에너지 전환	• 배출저감 및 방지 조치의 적용 • 저탄소/배출제로 에너지 전환
배출저감(간접)	• 신재생에너지 기반 마이크로 그리드 • 에너지 효율 개선: 자동화, 최적화 등 • 탄소 흡수, 제거 등	• 신재생에너지 기반 마이크로 그리드 • 에너지 효율 개선: 자동화, 최적화 등 • 이동·확산 차단, 흡수, 제거 등

자료: 저자 작성

- 상기 두 분야를 이원적으로 접근하기보다는, 모니터링 및 인벤토리 작성, 배출저감 및 방지 조치의 적용, 에너지 효율 개선을 위한 최적화 등 교차 접점이 발생하는 부분에서는 업무를 일원화하여 성과를 공유하는 등 중복 업무 및 투자 등의 비효율을 지양하려는 방안을 강구하는 것이 필요함

2) 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)

(1) 개요

- 항만 탄소중립 이행·관리활동
 - ‘항만의 탄소중립’ 즉, 항만의 순배출을 제로화하기 위해 요구되는 활동 전반으로 이해할 수 있음
 - ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’에서 제시하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리활동’은 현시점에서 적용 가능하거나, 기술의 발전 여부에 따라서 탄소중립 구현을 위한 핵심 기술 또는 정책적 방법론으로 적용 가능할 것으로 판단되는 항목으로 정리할 수 있음
- 대상 및 범위의 규정
 - 이행·관리 대상 물질의 범위 및 방식에 따라, 6대 온실가스 또는 그 외에 지구 온난화에 유의미한 영향을 미치는 기타 온실가스를 포함하는 물질을 대상으로 배출 저감 및 방지, 배출된 물질의 흡수와 제거를 위한 ‘Climate neutrality’ 또는 ‘Net zero’의 개념, 그리고 대상 물질을 이산화탄소로 국한하는 ‘Carbon neutrality’의 개념으로 구분할 수 있음

〈요약 표 3-2〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물질 구분

구 분	대상 물질	비 고
Climate neutrality 또는 Net zero	6대 온실가스	• 이산화탄소(CO ₂), 메탄(CH ₄), 아산화질소(N ₂ O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화화합물(PFCs), 육불화황(SF ₆)
	기타 온실가스 포함	-
Carbon neutrality	이산화탄소(CO ₂)	-

자료: 저자 작성

- 이행·관리의 대상 배출원 및 지역 경계에 대한 확정 필요; 통제접근법 가운데 ‘운영통제 범위’를 기준으로 경계를 설정하는 ‘조직경계’의 개념을 차용할 수 있음

〈요약 표 3-3〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물리적 범위 및 업무경계

구분(운영 경계)	경계 범위	비 고
Scope 1	'항만'의 통제영역 내 활동으로 인한 직접 배출 ^트	-
Scope 2	항만 활동의 결과에 따른 배출이나, 외부의 소유 또는 통제하에 있는 간접 배출	• 구매 전력의 사용으로 인한 간접 배출 등
Scope 3	항만 활동의 가치사슬(Value chain)에서 발생하는 배출	• '전주기 평가(LCA)' 개념 적용

자료: 저자 작성

(2) 유형별 분류

■ 항만 탄소중립 이행·관리체계 구축: ① 배출 모니터링

〈요약 표 3-4〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-1. 배출 모니터링

유 형	개 념
배출 모니터링	• 항만 활동으로 인한 온실가스 배출의 규모 및 양상, 특성 등을 명확하게 파악하기 위한 과정 - 배출 인벤토리 작성을 위한 배출원별 현황, 활동 데이터 등 수집 - 해당 항만의 온실가스 배출 인벤토리 작성 - 산정결과 정확도 보정·개선을 위한 실제 배출 측정 등

자료: 저자 작성

〈요약 표 3-5〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-1. 배출 모니터링

유 형	활 동	지표 항목
배출 모니터링	항만 온실가스 배출원 조사	• 관리 범위·대상 규정 • 항만 온실가스 배출원 조사
	항만 온실가스 배출 인벤토리 작성	• 항만 온실가스 배출 인벤토리 작성 및 평가 • 주요 배출원 배출실태조사(배출 측정)

자료: 저자 작성

■ **항만 탄소중립 이행·관리체계 구축: ② 이행·관리전략 수립**

〈요약 표 3-6〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-2. 이행·관리전략 수립

유형	개념
이행·관리전략 수립	• 국내외 관련 규범의 준수를 넘어서 개별 항만의 실질적 탄소중립 구현을 위한 체계적 이행·관리 방안 마련 - 온실가스 배출 인벤토리를 바탕으로, 항만의 미래 배출 전망 및 분석 - 문제점 및 관련 현안 구체화; 이에 대한 유호 기술·정책적 조치 선별, 도입-적용 우선순위 도출 - 목표수준 및 추진 일정 제시; 추후 환경 변화 및 이행점검 결과 등에 따른 재조정 - 효과적 이행을 위한 업무·조직 체계의 구성 또는 정비

자료: 저자 작성

〈요약 표 3-7〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-2. 이행·관리전략 수립

유형	활동	지표 항목
이행·관리전략 수립	항만 탄소중립 이행·관리전략 수립	• 개별 항만별 전략 수립 - 이행·관리 범위·대상 규정 - 항만 온실가스 배출원 현황 - 항만 온실가스 배출 현황, 전망 - 배출저감 및 에너지 전환 방안 및 목표, 기준 설정 - 추진전략, 일정 - 이행점검·평가 및 반영
	관리·운영체계 구축	• 항만 탄소중립 관리 전담 업무/조직, 일원화 • 민관 협력체계 구축

자료: 저자 작성

■ 항만 탄소중립 이행·관리체계 구축: ③ 이행점검 및 결과반영

〈요약 표 3-8〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-3. 이행점검 및 결과반영

유형	개념
이행점검 및 결과반영	- 항만의 탄소중립 구현을 위한 경로 및 시나리오에 따른 이행·관리 성과에 대한 평가, 시나리오 및 이에 따른 목표 및 전략의 수정을 통해 2050년까지 장기간 이행·관리의 효율성을 제고하기 위한 방안 - 배출저감 및 이행·관리 성과 평가 - 배출저감 및 효율적 이행·관리를 위한 대안(기술·정책)의 유효성 검토 - 경로/시나리오 재조정

자료: 저자 작성

〈요약 표 3-9〉 유형별 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-3. 이행점검 및 결과반영

유형	활동	지표 항목
이행점검 및 결과반영	이행점검·평가 및 반영	- 이행점검·평가 - 이행정도, 성과평가 - 2030-2050 구현 가능성 검토 - 기술·정책적 대안의 유효성 검토 - 이행경로 및 목표, 기준 재조정 → 이행·관리전략 수정 반영

자료: 저자 작성

■ 항만의 배출 저감·관리: ④ 배출 저감·관리(직접)

〈요약 표 3-10〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-1. 배출 저감·관리(직접)

유형	개념
배출 저감·관리(직접)	- 항만 활동으로 인한 온실가스의 '배출'을 최소화하거나 방지하는 개념으로, 항만의 배출원별 배출을 저감·방지하기 위한 방안을 마련·적용 - 주요 배출원의 온실가스 배출을 저감하기 위한 각종 기술·정책적 조치 도입·적용 - 저탄소 또는 배출제로 개념의 에너지 전환 - 대안기술의 개발·적용

자료: 저자 작성

〈요약 표 3-11〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-1. 배출 저감·관리(직접)

유 형	활 동	지표 항목
배출 저감·관리 (직접)	선박 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 선박 속도저감(VSR) 조치 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지로의 전환 - 육상전원 공급·사용
	하역장비 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후장비 교체 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지로의 전환
	진출입 자동차 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후 화물트럭 진출입 제한 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지로의 전환
	기타 시설물 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후장비·시설 교체 - 배출제로 개념의 친환경 에너지로의 전환
	대안기술의 적용	• 대안기술 선도 프로그램, 펀드

자료: 저자 작성

■ 항만의 배출 저감·관리: ⑤ 배출 저감·관리(간접)

〈요약 표 3-12〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-2. 배출 저감·관리(간접)

유 형	개 념
배출 저감·관리(간접)	• 항만의 배출을 직접 저감하거나 방지하는 방안 외에, 결과적으로 항만의 배출을 저감하기 위한 2차적 방안 및 인프라 구축, 활용 - 자동화, 최적화 등을 통한 하역 및 이송·운송 과정의 에너지 효율 개선 - 신재생 에너지 기반 에너지 생산·공급·연계로 항만의 에너지 수요 대응 - 이산화탄소 포집 및 활용; 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급

자료: 저자 작성

〈요약 표 3-13〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-2. 배출 저감·관리(간접)

유형	활동	지표 항목
배출 저감·관리 (간접)	항만 내 하역·이송·운송 과정의 최적화	• 하역·운송과정 조정·효율화 - 항만 내 하역, 운송 단계의 순서, 부두시설 및 인프라 등 물리적 구조 배치의 재조정 - 하역, 운·이송 자동화, 최적화 • 화물트럭 운행 조정·효율화 - 화물트럭 운행, 배차 등을 조정, 최적화
	항만 스마트-마이크로 그리드 구축, 운용	• 신재생 에너지 기반 에너지 자립 • 항만 내 마이크로 그리드 구축 및 연계방안 마련 • 스마트-마이크로 그리드 구축
	이산화탄소 포집 및 활용	• 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급 • 탄소 포집 및 저장 기술 개발; 대기오염 물질과 연계

자료: 저자 작성

3) 도입·활용 방안

▪ 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련

〈요약 표 3-14〉 도입·활용방안: 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련

구분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련	• 장기전략의 특성상 기술·제도 환경의 변화, 기술의 발전 또는 패러다임 자체의 변경 등의 불확실성 증대 → 불확실성으로 인한 위험요인 회피, 이행·관리활동의 효과 제고를 위한 체계적인 접근 필요	• 국가 차원에서 ① 항만의 탄소중립 이행·관리활동의 표준안 개발 ② 배출량 산정, 주요 배출원별 배출 저감·방지를 위해 적용 가능한 최신 주요 방법론에 대한 지침 제공 • 개별 항만은 이를 바탕으로 ① 일정한 기준에 따른 항만 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성

구 분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
		② 이행점검 및 핵심기술의 유효성 검토결과를 반영한 온실가스 배출저감 경로 및 시나리오 수정 ③ 온실가스 배출량 및 감축량 추정 및 미래 전망·분석 ④ 이행·관리 지표 및 목표의 설정 또는 재조정 ⑤ 이행·관리 유형 및 세부활동의 추진 전략 및 일정 등을 포함하는 개별 전략 수립, 이행

자료: 저자 작성

■ 이행점검 체계 개발 및 적용

〈요약 표 3-15〉 도입·활용방안: 이행점검 체계 개발 및 적용

구 분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
이행점검 체계 개발 및 적용	- 장기전략의 특성상 기술·제도 환경의 변화, 기술의 발전 또는 패러다임 자체의 변경 등의 불확실성 증대 → 현실과 전략 간의 괴리를 최소화함으로써 실효성 있는 전략 수립·변경을 위한 '이행점검 및 반영' 체계 개발 필요	- 항만의 탄소중립 이행·관리전략 수립을 위한 이행점검의 지표 및 '수시 평가-반영' 체계 구축 ① 기존 전략에 따른 이행·관리 지표별 성과평가 ② 온실가스 배출의 감축실적 평가 ③ 기존 이행·관리 지표의 유효성 검토; 이에 따른 지표 및 목표 수준의 변경 필요성 검토 ④ 차기 전략에 반영이 필요한 변경·개선 사항의 도출

자료: 저자 작성

4. 정책 제언

1) 정책화 대안

▪ 항만 탄소중립 이행·관리체계의 구축

〈요약 표 4-1〉 주요 추진과제: 이행·관리체계의 구축(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’ 개발 → 개별 항만의 ‘항만 탄소중립 이행·관리전략’ 수립; 기존 전략의 목표, 기준 재조정 → ‘해양수산 탄소중립 로드맵’ 수정·보완 추진 • ‘항만 탄소중립 이행·관리활동 표준체계’ 개발, 적용 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 • ‘항만 탄소중립 이행점검 표준체계’ 개발, 적용 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 → 매년/수시 평가 수행(업데이트), 결과 반영	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 유관부서 협의·공조 필요
• 지방자치단체-항만공사-지방해수청의 ‘공공부문 항만 탄소중립 공동대응체계’ 구축, 운영	지방해양수산청, 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진
• 항만 탄소중립 추진을 위한 민-관 협력 프로그램 구축, 운영	해양수산부 해양환경정책과 등 (국가 차원) 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진(개별 항만/권역별)

자료: 저자 작성

▪ 배출 모니터링 강화

〈요약 표 4-2〉 주요 추진과제: 배출 모니터링 강화(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만의 배출 인벤토리 작성 지침 개발 → 「항만 대기질법」에 의한 대기오염물질 배출 인벤토리와 연계, 온실가스를 대상 물질로 추가하여 일원화 → 지침 등 고시, 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 협의·공조 필요 ※ 환경부(국립환경과학원, 온실가스 종합정보센터, 미세먼지 정보센터) 등 관계부처 협의·공조 필요

추진 사항	추진 주체
• 항만별 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 → '항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침'에 포함 → 매년 수행(업데이트); '항만 탄소중립 이행점검'에 반영	관할 지방자치단체, 항만공사 공동 ※ 해양수산부 해양환경정책과
• 항만의 배출 모니터링 기초자료 산정을 위한 유관부처/기관 데이터 연계·공유 방안 마련 → 부처 간 연계·공유 의무화; 대기오염물질 관리와 연계하여 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 해양수산부, 국토교통부의 관련 산하 기관(KOMSA, KR 등) 협의·공조 필요

자료: 안용성 외(2020), p. 270 내용을 수정하여 저자 재작성

■ 항만 탄소중립 구현을 위한 기술 선도 프로그램 출범

〈요약 표 4-3〉 주요 추진과제: 기술 선도 프로그램 출범(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만 탄소중립 선도기술 개발·지원을 위한 재정 확보방안 마련 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등
• '항만의 탄소중립 구현을 위한 선도기술 프로그램' 도입·운영 + 항만 탄소중립 구현 기술 분류체계 및 수요조사, 기술 개발·도입 우선순위 도출 등 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 항만운영과, 항만기술안전과 등

자료: 안용성 외(2020), p. 272 내용을 수정하여 저자 재작성

2) 기대 효과

- 최적의 이행전략을 도출·이행하기 위한 근거 및 가이드라인으로 활용
- 탄소중립 구현을 위한 다양한 기술·정책적 대안의 검토, 상호 연관성 및 중복요소 등을 고려한 비교분석, 이행·관리에 필수적으로 요구되는 주요 활동의 식별 및 선별, 이들의 속성별 분류 등을 반영하는 '항만의 탄소중립 이행·관리 표준(안)'은 탄소중립 구현을 위한 가이드라인 마련의 단초를

제공하는 동시에, 이에 따른 전략적 이행-점검체계의 도입으로 국내 항만의 탄소중립 이행·관리의 효과 및 효율성을 획기적으로 제고할 수 있음

■ 항만의 탄소중립 구현을 위한 실효적 최적방안 도출

- 주요 이행주체인 항만당국 및 관할 지방자치단체, 연관 산업계 등 주요 이해관계그룹은 이를 활용하여 국내외 관련 규범을 효과적으로 준수·이행함은 물론, 궁극적으로는 항만의 탄소중립을 실제로 구현하기 위한 최적의 방안을 도출할 수 있음
- 본 연구를 통한 이행·관리표준안을 바탕으로 이행점검 및 평가를 통해 개선·보완이 필요한 분야 및 정도 등을 파악하여, 이를 개선하는 ‘선순환 구조’를 구축할 수 있음

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on Implementation and Management Standards for Reaching Carbon Neutrality in Ports

Yong Sung Ahn · Ju-Hyung Kim · Seung-Hyun An · Sung-Ah Kim ·
Hye-Ryeong Lee · Hyang-Sook Lee

1. Purpose

- Despite the target level and deadline for realizing carbon neutrality –considered to be the only option for limiting the global average temperature rise to 1.5°C – being unattainable with current technology, carbon neutrality is now a constant value, not expected to change in the future.
- Therefore, principal agents of implementation including the government, port authority and local governments need to minimize uncertainties surrounding technology, related policies and the environment, while undertaking effective and efficient responses against pressure to move towards carbon neutrality in ports. To achieve this, it is necessary to formulate ‘Standards for Implementation and Management Activities’ for proactively

taking a systematic approach.

- For realizing carbon neutrality in ports and implementing related regulations,
 - ① This study established the concept of implementation and management activities in Korean ports, along with how it works and what it consists of followed by a proposal of standards (draft). This study also extracted key indicators for examining thereafter outcomes per each activity.
 - ② This study aims to propose specific measures for adoption and application.
- This study can provide a solid foundation for formulating a practical guideline for achieving carbon neutrality in Korean ports. With the adoption of strategic implementation and monitoring system, the implementation and management of carbon neutrality can be significantly improved.

〈Table 1〉 Purpose of this study

Purpose	Expected effect
• Establishing the concept of implementation and management activities in Korean ports, along with how it works and what it consists of followed by a proposal of standards (draft) • Extracting key indicators for examining the outcome of each major required activity • Suggesting measures for adoption and application	• Devising a practical guideline for realizing carbon neutrality in Korean ports → The introduction of a strategic implementation – monitoring system can significantly boost the effect and efficiency of implementation and management of carbon neutrality in ports • Preparing a solid verification ground to minimize uncertainties surrounding technology and policy measures for

Purpose	Expected effect
	achieving carbon neutrality in shipping and ports Effectively undertaking domestic and foreign regulations by major principals of implementation as well as stakeholder groups, and ultimately extracting optimal measures for realizing carbon neutrality in ports

Source: prepared by the author

2. Methodology and Features

1) Methodology

- (Literature review, comparative analysis) This study investigated the present status of domestic and foreign regulations that specify the implementation of carbon neutrality, while conducting a comparative analysis in accordance with the classification per keyword.
- The concepts and the differences between the principals of ‘carbon neutrality’, and the level of its resulting targets and levels are summarized and analyzed.
- The concept of carbon neutrality’ required for ports, implementation and management targets and/or requirement levels are specified.
- The connection with atmospheric environment management in ports seemingly interconnected and overlapped with the implementation of carbon neutrality in ports has been reviewed.

〈Table 2-1〉 Comparative analysis of major domestic and foreign regulations

Classification	Content	Remark
• The concept of carbon neutrality in ports • Specification	• Reviewing the concept of carbon neutrality	• Background of requiring the implementation of carbon neutrality • The concept of carbon neutrality
	• Investigating and reviewing major domestic and foreign regulations and the present status of implementation strategies	• Direction for pushing ahead carbon neutrality by nation • Target of carbon neutrality by nation • Relevant regulations
	• Specifying the concept of carbon neutrality in ports	• Specifying the concept, target and required level of carbon neutrality in ports • Reviewing the connection with atmospheric environment management in ports

Source: prepared by the author

- (Literature review, comparative analysis and in-depth interviews) This study carried out a thorough investigation and review of the guidelines of international organizations as well as implementation status in major domestic and foreign ports, specifying the subject and scope of ‘carbon neutrality in ports’. Following this, elements of implementation and management activities required for materializing carbon neutrality were identified while classifying the type of specific activities based on attributes.
- A focus group interview (FGI) was conducted targeting domestic and foreign preceding research groups and working-level groups. The FGI aimed to review and revise the draft of the

‘implementation and management activity list for carbon neutrality in ports’ identified from the result of literature review and comparative analysis.

〈Table 2-2〉 Identification of constituents of the implementation and management activities for carbon neutrality in ports

Classification	Content	Remark
Identifying the elements of implementation and management activities for carbon neutrality in ports	Comparative analysis of domestic and foreign cases of carbon neutrality in ports	- Guideline related to carbon neutrality in ports - Specific implementation cases in domestic and foreign ports
	Identifying elements that constitute implementation and management activities for carbon neutrality in ports	- The subject and scope of application - Classification per major attribute - Identification of elements per attribute

Source: prepared by the author

2) Features

- Based on domestic and foreign relevant regulations as well as major studies, this study establishes the concept of ‘carbon neutrality in ports’ which has not yet been clearly defined in domestic and foreign fields, along with major requirement activities, types as well as how it works and what it is composed of.

- Following this process, this study proposes ‘Implementation and Management Standards of Carbon Neutrality in Ports (draft)’ that meets the reality of Korean ports, specifying the types and concepts of implementation and management activities of carbon neutrality. Furthermore, this study extracted major methodologies, key indicators and standard systems while proposing adoption and application measures for effective implementation.
- Therefore, this study can be evaluated as an initial step towards discussions on valid methodologies for implementing and monitoring carbon neutrality in ports, available policy and technology inventories as well as comprehensive system for standard implementation and monitoring.

Classification	Review of preceding studies		
	Purpose	Method	Major content of the study
This study	• Establishing the concept of implementation and management activities required to realize carbon neutrality in ports and undertake relevant regulations, and then proposing standards as well as adoption and application measures	• Study, compare and analyze domestic and foreign literature · Domestic and foreign major regulations in relation to carbon neutrality · Implementation cases of carbon neutrality in domestic and foreign major ports	• Reviewing policies and cases of carbon neutrality in domestic and foreign major ports • Defining the concept of implementation and management activities of carbon neutrality in ports, Extracting key indicators and classification system based on the classification • Proposing the ‘Implementation and Management

Classification	Review of preceding studies		
	Purpose	Method	Major content of the study
		• Focus Group Interview (FGI), Expert seminar	Standards for Carbon Neutrality in Ports (draft) • Suggesting the standards for adoption and application

Source: prepared by the author

3. Result

1) The concept of carbon neutrality in ports

- Carbon neutrality in ports
 - Carbon neutrality is a state of cutting ‘net emissions from ports’ to zero by reducing greenhouse gas emissions as much as possible resulting from a variety of port activities, while removing pre-emitted greenhouse gases with the application of carbon capture and storage technology.
- Connecting carbon neutrality in ports with the management of atmospheric environment

〈Table 3-1〉 Comparison of carbon neutrality in ports and atmospheric environment management

Classification	Carbon neutrality in ports	Atmospheric environment management
Purpose	Prevention of global warming	Reduction of health hazard in public/local community
Targeting subject for management	Greenhouse gas	Atmospheric pollutants
Monitoring	Investigating sources of emission, Drawing up an inventory	- Investigating sources of emission, Drawing up an inventory - Measuring the concentration of pollutants in the air: simulating the movement and diffusion - Health and environmental impact assessment etc.
	Connecting and converting through the secondary reaction in the atmosphere and its impact etc.	
Emission reduction (direct)	- Applying emission reduction and prevention measures - Converting to low-carbon/net-zero energy	- Applying emission reduction and prevention measures - Converting to low-carbon/net-zero energy
Emission reduction (indirect)	- Renewable energy-based micro-grid - Improving energy efficiency: automation, optimization - Carbon absorption, removal etc.	- Renewable energy-based micro-grid - Improving energy efficiency: automation, optimization - Preventing the movement and diffusion, carbon absorption and removal etc.

Source: prepared by the author

- Rather than taking a dualistic approach to the aforementioned two areas, it is necessary to devise measures that aim to avoid inefficiencies in repetitive work and investment by unifying relevant tasks where there exists a crossover. These areas may include monitoring and drawing up an inventory; application of measures for emission reduction and prevention and optimization for improving energy efficiency.

2) Implementation and Management Standards for Carbon Neutrality in Ports (Draft)

(1) Overview

- Implementation and management activities for carbon neutrality in ports
 - ‘Carbon neutrality in ports’ can be understood as general activities required for achieving net-zero emission in ports.
 - ‘Implementation and management activities for carbon neutrality in ports’ suggested in the ‘Implementation and Management Standards for Carbon Neutrality in Ports (draft)’ can be summarized as follows; applicable technology as of the present, key technology for realizing the carbon neutrality in accordance with technological development or applicable technology based on policy methodologies.

- Specification of the subject and scope
 - Depending on the scope and methods of target materials under implementation and management, the subject can be classified into two; ‘climate neutrality’ or ‘net zero’ and ‘carbon neutrality’. While the former refers to cutting and preventing emissions as well as absorbing and removing 6 major types of greenhouse gases and other GHGs which have a significant impact on global warming, the latter is limited to carbon.

〈Table 3-2〉 Target and scope of implementation and management of carbon neutrality in ports: substance classification

Classification	Target substance	Remark
Climate neutrality or Net zero	6 major GHGs	• Carbon dioxide (CO ₂), Methane (CH ₄), Nitrous oxide (N ₂ O), Hydrofluorocarbons (HFCs), Perfluorochemicals (PFCs), Sulfur hexafluoride (SF ₆)
	Including other GHG	
Carbon neutrality	CO ₂	

Source: prepared by the author

- There exists a need to determine sources of emission targeting for implementation and management as well as regional boundaries; the concept of ‘organizational boundary’ can be used to establish a boundary on the basis of ‘the scope of operational control’ among Control Approach.

〈Table 3-3〉 Target and scope of implementation and management: physical scope and working boundary

Classification (operational boundary)	Boundary scope	Remark
Scope 1	Direct emission resulting from activities within the control area of 'ports'	
Scope 2	Emission resulting from port activities or indirect emission either from outside ownership or outside control	• Indirect emission through the use of traded electricity etc.
Scope 3	Emission occurred in the value chain of port activities	• Applying the concept of Life Cycle Assessment (LCA)

Source: prepared by the author

(2) Classification by type

- Establishment of an implementation and management system for carbon neutrality in ports:

① Emission monitoring

〈Table 3-4〉 Definition by the type of implementation and management for carbon neutrality in ports: 1-1. Emission monitoring

Type	Concept
Emission monitoring	• Process for clearly identifying the size, pattern and characteristics of GHG emissions resulting from port activities – Collecting information such as the present status per source of emission as well as activity data for drawing up an emission inventory – Drawing up a GHG emission inventory for relevant ports – Measuring actual emission for modifying and improving the accuracy of estimation results

Source: prepared by the author

〈Table 3-5〉 Classification of implementation and management activities by type: 1-1. Emission monitoring

Type	Activity	Indication item
Emission monitoring	• Investigating sources of GHG emission in ports	• Defining scope and target for the management
		• Investigating sources of GHG emission in ports
	• Drawing up a GHG emission inventory in ports	• Drawing up and evaluating a GHG emission inventory in ports
		• Investigating the status of major sources of emission (measuring the emission)

Source: prepared by the author

- Establishment of an implementation and management system for carbon neutrality in ports: ② Establishment of an implementation and management strategy

〈Table 3-6〉 Definition by the type of implementation and management for carbon neutrality in ports: Establishment of an implementation and management strategy

Type	Concept
Establishment of an implementation and management strategy	• Not only complying with domestic and foreign relevant regulations, but also preparing a systematic implementation and management measure to practically realize carbon neutrality in ports – Forecasting and analyzing future emission in ports, based on the GHG emission inventory – Specifying problems and related issues: Selecting relevant effective technology, policy measures and extracting the priority pertaining to introduction – application – Proposing target level and implementation schedule: Modifying the detail based on further environmental change and monitoring results – Forming or rearranging working, organizational system for effective implementation

Source: prepared by the author

〈Table 3-7〉 Classification of implementation and management activities by type: 1-2. Establishment of an implementation and management strategy

Type	Activity	Indication item
Establishment of an implementation and management strategy	Establishing an implementation and management strategy for carbon neutrality in ports	• Establishing a strategy per individual port - Defining the scope and target for the implementation and management - The present status of sources of GHG emission in ports - The present status and forecast of GHG emission in ports - Setting measures, target and criteria for emission reduction and energy conversion - Implementation strategy, schedule - Implementation inspection, evaluation and reflection of the result
	Building a management and operation system	• Unifying works/organizations exclusively in charge of the management of carbon neutrality in ports • Building a private-public cooperation system

Source: prepared by the author

- Establishment of an implementation and management system for carbon neutrality in ports: ③ Implementation inspection and reflection of result

〈Table 3-8〉 Definition by the type of implementation and management for carbon neutrality in ports: 1-3. Implementation inspection and reflection of result

Type	Concept
Implementation inspection and reflection of result	- Measures aiming to improve the efficiency of long-term implementation and management by 2050 through examination on the implementation and management results in accordance with courses and scenarios for carbon neutrality in ports as well as readjustment of target and strategies - Evaluating the results of emission reduction and its relevant implementation and management - Reviewing the validity of alternative measures (technological policy) for emission reduction and effective implementation and management - Rearranging the course/scenario

Source: prepared by the author

〈Table 3-9〉 Classification of implementation and management activities by type: 1-3. Implementation inspection

Type	Activity	Indication item
Implementation inspection and reflection of result	Implementation inspection, examination and reflection	- Implementation inspection and examination - Implementation level, examination on the outcome - Reviewing the possibility of realization in 2030-2050 - Reviewing the validity of technological and policy measures
		- Readjusting implementation course, target and criteria → Modifying and reflecting on the implementation and management strategy

Source: prepared by the author

- Emission reduction and management in ports: ④ Emission reduction and management (Direct)

〈Table 3-10〉 Definition by the type of implementation and management for carbon neutrality in ports: 2-1. Emission reduction and management (Direct)

Type	Concept
Emission reduction and management (Direct)	• The concept is to minimize or to prevent the ‘emission’ of GHGs resulting from port activities. Measures are established and applied for reducing and preventing the emission per sources in ports – Introducing and applying a variety of technological and policy measures for reducing GHG emission from major emission sources – Converting to low-carbon or net zero energy – Developing and applying alternative technology

Source: prepared by the author

〈Table 3-11〉 Classification of implementation and management activities by type: 2-1. Emission reduction and management (Direct)

Type	Activity	Indication item
Emission reduction and management (Direct)	Reduction and management of ship emission	• Emission reduction measures (direct) – Vessel Speed Reduction (VSR) – Converting to eco-friendly energy in the concept of low-carbon net zero – Supplying and using AMP
	Reduction and management of unloading equipment emission	• Emission reduction measures (direct) – Changing aged equipment – Converting to eco-friendly energy in the concept of low-carbon net zero
	Reduction and management of emission from entering/exiting vehicles	• Emission reduction measures (direct) – Limiting the entrance/exit of aged cargo trucks – Converting to eco-friendly energy in the concept of low-carbon net zero
	Reduction and management of emission from other facilities	• Emission reduction measures (direct) – Changing aged equipment/facilities – Converting to eco-friendly energy in the concept of net zero
	Application of alternative measures	• Alternative technology leading programs, funds

Source: prepared by the author

- Emission reduction and management in ports: ⑤ Emission monitoring

〈Table 3-12〉 Definition by the type of implementation and management for carbon neutrality in ports: 2-2. Emission reduction and management (Indirect)

Type	Concept
Emission reduction and management (Indirect)	• Other than measures for directly reducing or preventing emission from ports, secondary measures and infrastructures are established and utilized to consequently cutting the emission from ports – Improving energy efficiency in the process of unloading and transportation through automation and optimization etc. – Responding to the energy demand in ports through the connection with renewable energy-based energy production – supply – CO₂ Capture and Utilization: Supplying renewable energy utilizing captured carbon

Source: prepared by the author

〈Table 3-13〉 Classification of implementation and management activities by type: 2-2. Emission reduction and management (Indirect)

Type	Activity	Indication item
Emission reduction and management (Indirect)	Optimizing the process of unloading, transfer and transportation within ports	• Adjustment and efficiency of the unloading and transportation process – Readjusting the arrangement of physical structure such as the order of unloading and transportation process within ports, as well as terminal facilities and infrastructure – Automating and optimizing unloading, transfer and transportation • Adjustment and efficiency of cargo truck operation

Type	Activity	Indication item
		– Adjusting and optimizing the operation and dispatch of cargo trucks
	Establishing and operating port smart – micro grid	• Renewable energy-based energy dependency • Building micro grid in ports and establishing measures for linkage • Establishing smart-micro grid
	CO ₂ capture and utilization	• Supplying renewable energy utilizing captured carbon • Developing carbon capture and storage technology: connecting with air pollutants

Source: prepared by the author

3) Introduction and application measures

- Formulation of an implementation and management strategy for carbon neutrality in ports

〈Table 3-16〉 Introduction and application measures: Formulation of an implementation and management strategy for carbon neutrality in ports

Classification	Limitations and problems	Improvement measures through introduction and application
Formulation of an implementation and management strategy for carbon neutrality in ports	• Increasing the uncertainty such as changes of technological as well as institutional environment due to the characteristics of a long-term strategy, technological	• At a national level, the government should ① Develop the standards for implementation and management activities for carbon neutrality in ports ② Provide a guideline regarding the latest applicable methodologies for measuring the emission as well as

Classification	Limitations and problems	Improvement measures through introduction and application
	development or paradigm shift → Requiring a systematic approach in order to avoid risk factors resulting from uncertainty and improving the effect of implementation and management activities	reducing and preventing the emission the emission per major source - Based on these measures, individual ports should - Investigate sources of emission in ports following certain standards, and draw up an emission inventory - Revise the course and scenario for reducing GHG emission by reflecting the result of implementation inspection and validity review of core technology - Estimate GHG emission and reduction volume and forecast/analyze the future - Set up or readjust implementation and management indicators and targets - Establish and carry out individual strategies that include specific type of implementation and management as well as implementation strategy and schedule of sub-activities

Source: prepared by the author

- Development and application of an implementation inspection system

〈Table 3-17〉 Introduction and application measures: Development and application of an implementation inspection system

Classification	Limitations and problems	Improvement measures through introduction and application
Development and application of an implementation inspection system	• Increasing the uncertainty such as changes of technological and institutional environment due to the characteristics of a long-term strategy, technological development or paradigm shift → Requiring to develop a system of 'implementation inspection and reflection of result' for establishing and changing effective strategies by minimizing the gap between the reality and the strategy	• Establishing indicators for implementation inspection as well as a 'regular evaluation and reflection' system for formulating implementation and management strategies for carbon neutrality in ports ① Evaluating the result per implementation and management indicator based on existing strategies ② Evaluating the result of reducing GHG emission ③ Reviewing the validity of existing implementation and management indicators: Reviewing the necessity for changing indicators and target levels ④ Extracting change/improvement items necessary to reflect on next-term strategies

Source: prepared by the author

4. Policy suggestions

1) Policy-making measures

- Establishment of an implementation and management system for carbon neutrality in ports

〈Table 4-1〉 Major tasks (2023~)

Implementation task	Main agent
• Developing a 'Guideline for the Establishment of Implementation and Management Strategy for Carbon Neutrality in Ports' → Establishing 'Implementation and management strategy for carbon neutrality in ports' for individual port: Readjusting targets and standards of existing strategies → Pushing ahead with revision and supplementation of 'Carbon Neutrality Roadmap in Oceans and Fisheries'	• Marine Environment Policy Division etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries
• Developing and applying 'Standards of Implementation and Management Activities for Carbon Neutrality in Ports' → Incorporating into the 'Guideline for the Establishment of Implementation and Management Strategy for Carbon Neutrality in Ports'	※ Requiring consultation/cooperation with related ministries and departments and their affiliated organizations such as Maritime Industry and technology Division, Port Technology and Safety Division, and Port Logistics Planning Division
• Developing and applying 'Standards of Implementation Inspection for Carbon Neutrality in Ports' → Incorporating into the 'Guideline for the Establishment of Implementation and Management Strategy for Carbon Neutrality in Ports' → Conducting an annual/frequent evaluation (update), and reflecting the result	
• Building and operating 'Joint Response System for Carbon Neutrality in Ports by the Public sector' consisting of local governments, port authorities and regional offices of oceans and fisheries	• Jointly working with regional offices of oceans and fisheries, local governments and port authorities
• Establishing and operating private-public cooperation programs for pushing ahead carbon neutrality in ports	• Marine Environment Policy Division etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries (national level) • Jointly working with local governments under jurisdiction, port authorities (individual port/jurisdiction level)

Source: prepared by the author

▪ Strengthening of emission monitoring

〈Table 4-2〉 Major tasks (2023~)

Implementation task	Main agent
• Developing a Guideline for drawing up an emission inventory in ports → Connecting with the emission inventory of air pollutants in accordance with the 'Special Act on the Improvement of Air Quality in Port and Other Areas' and then unifying them by adding GHG as a subject substance → Announcing the guidelines, etc. and reflecting it to and amending the 'Special Act on the Improvement of Air Quality in Port and Other Areas'	• Marine Environment Policy Division etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries ※ Requiring consultation/cooperation with related ministries and departments and their affiliated organizations such as Maritime Industry and technology Division, Port Technology and Safety Division, and Port Logistics Planning Division ※ Requiring consultation and cooperation with related ministries and departments such as the Ministry of Environment (National Institute of Environmental Research, National Center for Fine Dust Information)
• Investigating sources of emission per port and drawing up an emission inventory → Incorporating into the 'Guideline for the Establishment of Implementation and Management Strategy for Carbon Neutrality in Ports' → Conducting annually (update): Reflecting the result into 'implementation inspection for carbon neutrality in ports'	• Jointly working with local governments under jurisdiction and port authorities ※ Marine Environment Policy Division, etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries
• Preparing measures to connect and share data among related ministries and departments as well as organizations for calculating the basic data to monitor emissions in ports → Mandating government ministries and departments for connecting and sharing the data and reflecting it to and amending the 'Special Act on the Improvement of Air Quality in Port and Other Areas'.	• Marine Environment Policy Division and Maritime Industry and technology Division etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries ※ Requiring consultation/cooperation with related ministries and departments and their affiliated organizations such as the Ministry of Oceans and Fisheries, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (IKOMSA, KR)

Source: Rewritten by the author after content revision of P. 270, Ahn Yong-Sung et al. (2020)

- Launching a technological leading program for realizing carbon neutrality in ports

〈Table 4-3〉 Major tasks (2023~)

Implementation task	Main agent
• Preparing a plan of securing finances in order to develop and support leading technologies for carbon neutrality in ports → Connecting and unifying the program with emission management of air pollutants in ports → Pushing forward with the amendment of the 'Special Act on the Improvement of Air Quality in Port and Other Areas'	• Environment Policy Division, etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries
• Introducing and operating a leading technology program for reducing and controlling air pollution at ports • + Developing the classification system for port carbon neutrality technologies, conducting a demand survey, and extracting the priority of technology development and introduction, etc. → Connecting and unifying the program with emission management of air pollutants in ports → Pushing forward with the amendment of the 'Special Act on the Improvement of Air Quality in Port and Other Areas'	• Environment Policy Division, Port Management Division, Port Technology and Safety Division, etc. of the Ministry of Oceans and Fisheries

Source: Rewritten by the author after content revision of P. 270, Ahn Yong-Sung et al. (2020)

2) Expected effect

- Serving as a solid foundation as well as a guideline for extracting and executing an optimal implementation strategy
- The 'Implementation and Management Standards for Carbon Neutrality in Ports (draft)' reflects the following elements; a review of a variety of technology and policy for realizing carbon neutrality, a comparative analysis considering inter-connectedness and repetitive elements, identification and selection of major activities necessarily required for the implementation and management of carbon neutrality and the classification of attributes. Therefore, this study provides an initial foundation for devising a guideline to realize carbon neutrality. At the same time, with the adoption of strategic implementation – monitoring system, this study can significantly improve the effect and efficiency of the implementation and management of carbon neutrality in Korean ports.
- Developing optimal effective measures for realizing carbon neutrality in ports
- Major stakeholder groups such as port authorities, local governments under relevant jurisdiction as well as related industries are able to utilize the Standards, effectively complying with and implementing domestic and foreign regulations. This study ultimately can develop optimal measures to practically materialize carbon neutrality in ports.

-
- This study contributes to creating a virtuous cycle where the Implementation and Management Standards proposed by this study can identify areas that need to be improved as well as the intensity through inspection and examination.

01

서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구의 배경 및 필요성

1) 연구의 배경

국제해운과 항만에 대한 배출저감 및 관리 강화 추세에 이어, 최근 이들에 탄소중립의 적극적 이행에 대한 국내외 추가적 압력이 증대되고 있는 시점이다. 국제해사기구(IMO)는 2018년 4월, 제72차 MEPC(해양환경 보호위원회)에서 온실가스 배출 저감을 위한 초기 전략 결의안을 채택하고, 2050년까지 국제해운의 배출을 2008년 수준 대비 50% 이상 감축함으로써 탄소중립을 실현하는 목표와 이를 실현하기 위한 일정을 설정하는 등, 대기오염물질 배출 제한 규제의 시행, 기준 강화에 이어 시장기반 조치 성격의 탈탄소화 작업 등을 매우 빠른 수준으로 논의 및 진행 중이다. 이에 따르면, 2023년부터 신조선에 이어 현존선에 대한 기술적 조치 EEXI(Energy efficiency existing ship index), 실제 운항 시 배출에 대한 조치 CII(Carbon intensity indicator) 등을 시행, 국제해운에 대한 온

실가스 배출규제를 강화하는 한편, 유럽에서 선제적으로 논의·추진 중인 탄소배출권 거래제, 탄소세 및 탄소펀드 등의 시장기반 조치와 온실가스 배출 저감을 위한 다양한 대안들을 검토하고 있어, 추후 추가적인 조치가 지속적으로 채택·시행될 것으로 예측된다.

유럽연합 위원회(EC)는 2050년 기후중립을 달성하기 위한 정책패키지, 「EU Green Deal」에 이어, 이를 위한 세부정책 패키지 ‘Fit for 55’를 발표하였다. EU는 기후, 에너지, 토지 사용, 운송 및 과세 정책 등 사회 전 분야의 기후중립 전환을 위해, 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 최소 55% 감축하기로 하는 등 과거보다 공격적인 목표를 제시하고,¹⁾ 이를 위해 2023년부터 점진적으로 해운 분야를 EU-ETS의 적용 대상으로 포함하여 미래 탄소 시장의 활성화에 일정 부분의 역할을 요구하고 있다. 또한, 선박 운항 시 연료 효율성을 개선하는 동시에 해운 분야의 지속 가능한 연료(재생연료 및 저탄소 연료) 사용 확대를 도모하는 ‘fuel EU maritime’을 제시하고, 선사 단위로 모니터링을 하고 이에 따른 제재를 부과하고 있다.

우리 정부 역시 항만 및 선박을 대상으로 대기오염물질 배출의 본격 관리를 위한 정책 패키지에 이어, 2050년까지 대한민국의 탄소중립 구현을 목표로 하는 국가비전, 이를 위해 전 사회적 탄소중립 패러다임 전환을 도모하는 범정부 차원의 「탄소중립 추진전략」을 2020년에 발표한 바 있으며, 해양수산부는 해당 전략에 따른 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 원활한 이행을 위해 「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」을 수립하고(2021.12.) 이를 위한 구체적인 세부전략을 마련하고 있다. 이에 따라, 전통적인 고탄소 산업구조 기반 산업 중 하나였던 해운 부문, 그리고 국내외 해운활동의 거점인 항만 부문에 대한 저탄소 전환 요구 역시 가중되고 있다.

1) 기존 40%에서 상향

2) 연구의 필요성

항만의 배출저감, 에너지 전환·믹스 등을 통한 탄소중립 구현은 대기오염 저감을 통한 대기질 개선과 더불어 최근 국내외 항만의 항만 환경관리·운영에 있어 최우선 순위의 현안으로 등장하고 있다. 항만은 국내외 교통 및 육해상 운송의 교차 거점으로, 육상수송 및 해운분야에 대한 적극적 대기환경 개선 및 지구 온난화 대응을 위한 탄소중립 규범의 이행, 나아가 항만의 운영과 환경 측면을 동시에 고려하는 효율적 지속가능성을 추구하는 정교한 접근이 요구된다.

(1) 항만의 탄소중립 이행을 위한 정보의 비대칭 구조 발생

하지만, 현재 이를 위한 제도적·기술적 기반은 충분히 준비되어 있지 않은 상황이다. 앞서 살펴본 바와 같이 범정부 차원의 「탄소중립 추진전략」, 해양수산부의 「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」 등으로 항만 및 해운분야에 대한 탄소중립 추진 방향 및 목표는 제시되었으나, 항만당국 및 지자체 등 주요 개별 이행주체에 요구되는 활동 및 방법, 기준 등의 가이드라인 및 구체적 사항 등에 대한 논의·준비는 미비한 수준이다. 이는 탄소중립 추진을 위한 국내외 규범에서 설정된 목표, 요구 수준 및 이를 위한 조치의 시행 일정에 비해 현재 기술 및 정책의 수준은 충분치 않은 상황으로 여러가지 대안이 제안되고 있으나, 이들의 불확실성이 주요 이행주체별 정책 수행의 위험요인으로 작용하고 있는 데에 기인하고 있는 것으로 보여진다.

국제사회 및 우리 정부의 공격적 목표 설정에 따른 규제 강화 추세에도 불구하고 이를 위한 기술 및 정책의 불확실성으로 인해, 이를 도입·이행해야 하는 국내외 선사 및 항만당국, 사업자 등은 뚜렷한 대안을 통한 미래 전략 마련 또는 당장 이행을 위한 주요 결정에 어려움을 호소하고 있다. 기술적으로 준비가 완전하지 않은 상황에서, 현재 시행이 확정되거나 입법

안이 발표된 규제에 대한 비용 충격을 완화하기 위하여, 개별 이행주체들은 저탄소 또는 배출 제로 전환을 위해 초기 기술의 불확실성에 대한 리스크를 감수해야 하는 입장이기 때문이다.

한편, 항만의 탄소중립 구현을 위한 기술 및 정책 대안, 국내 항만 현실에 부합하는 도입·운영전략, 구체적 방법론 등이 부재한 상황에서, 지자체 및 항만당국, 사업자 등 개별 이행주체들은 관련 규범의 이행방안을 마련하고 추진함에 있어서 각각 독자적인 업무 수행전략 및 모형, 이를 위한 개별적 방법론, 기준 등을 준비하고 있다. 하지만, 이는 정책의 개발은 물론 수행과정에서도 비효율을 초래할 수 있으며, 추후 항만별 이행상황에 대한 평가·점검 역시 의미 있는 결과를 기대하기 어렵다.

(2) 국내 항만의 탄소중립 구현을 위한 이행·관리활동의 표준체계 마련 시급

국내에는 물론 국제사회의 탄소중립 이행 압력에 효과적으로 대응하기 위해서는, 우선 주요 이행주체가 탄소중립, 나아가 항만의 탄소중립의 개념을 올바르게 이해하고, 이를 구현하기 위해 요구되는 주요 속성 및 이들의 작동·구성 원리, 이를 위한 기술·정책적 방안의 유효성, 수준 등을 파악하여, 주어진 환경 및 조건에 부합하는 최선의 선택, 결정을 할 수 있도록 ‘국내 항만의 탄소중립’ 이행을 위한 일관성 있는 가이드라인이 마련되어야 한다. 정부 및 개별 이행주체는 이를 바탕으로 항만의 활동으로 발생하는 온실가스의 배출을 정확하게 파악·예측하고, 이를 선제적으로 방지하거나 관리하기 위한 최적의 정책적·기술적 방법론을 적시에 적용할 수 있으며, 이러한 과정에서 국내외 규범의 요구 수준을 넘어 항만의 지속가능한 친환경 운영을 영위할 수 있다. 또한, 표준체계에 따른 요구 활동의 수행을 위한 업무 및 조직의 구성 또는 정비를 통해, 운영의 효율성을 극대화할 수 있다.

이러한 통합 가이드라인 및 이를 위한 요구활동의 표준체계가 준비되지 못한 상황에서 개별 이행주체별로 독자적인 이행전략 및 수행모형을 개발·적용할 경우, 국가 차원의 목표 달성을 위한 효율적 관리가 어려울 수 있으며, 추후 전략의 수정과 개선을 위한 이행평가 역시 실제 활동의 문제점 및 개선 가능성을 파악할 수 있는 제도적 기반의 미비로 저감목표 대비 달성 정도의 ‘일차원적 성과평가’에 그칠 수 있다. 이러한 측면에서도, 본 연구를 통한 이행·관리 표준안을 바탕으로 이행점검과 평가를 통해 개선·보완이 필요한 분야 및 정도 등을 파악하여, 이를 개선하는 ‘선순환 구조’를 구축할 수 있다.

2. 연구 목적

앞서 살펴본 바와 같이, 날로 증대되고 있는 항만의 탄소중립 이행 압력에 효과적으로 대응하기 위해서는 보다 체계적인 접근을 위한 ‘이행·관리활동의 표준체계’ 마련이 선행적으로 요구되며, 이는 항만당국 및 관련 기관, 산업계 등이 자신의 환경과 여건에 부합하는 최적의 이행전략을 수립·추진하는 데에 있어 중요한 근거 및 가이드라인으로 활용될 수 있다.

이에, 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는 ① 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 표준(안)을 제시하는 한편, ② 추후 활동별 이행성과를 점검하기 위한 핵심 지표를 도출하고, ③ 이들의 도입 및 활용방안을 제시하고자 하였다. 또한, 항만의 탄소중립 구현을 위한 기술 및 정책적 방안을 면밀하게 검토하고, 이를 도입·적용하는 과정에서 발생할 수 있는 현안 및 수요의 발굴, 반영, 이에 따른 공론화 등의 과정을 통해, 해운 및 항만의 탄소중립을 위한 기술 및 정책적 대안의 불확실성을 최소화할 수 있는 기반 마련의 단초를 제공하고자 하였다.

항만 및 해운분야의 탄소중립 구현을 위한 다양한 기술·정책적 대안의 검토, 이들의 상호 연관성 및 중복요소 등을 고려한 비교분석, 항만의 탄소중립 이행·관리에 필수적으로 요구되는 주요 활동의 식별 및 선별, 이들의 속성별 분류 등을 반영하는 ‘항만의 탄소중립 이행·관리 표준(안)’은 국내 항만의 탄소중립 구현을 위한 실질적인 가이드라인 마련의 단초를 제공하는 동시에, 이에 따른 전략적 이행-점검체계의 도입으로 항만 탄소중립 이행·관리의 효과 및 효율성을 획기적으로 제고할 수 있을 것으로 보인다.

이와 더불어, 주요 이행주체인 항만당국 및 관할 지방자치단체, 연관 산업계 등 주요 이해관계그룹은 이를 활용하여 국내외 관련 규범을 효과적으로 이행함은 물론, 궁극적으로는 항만의 탄소중립을 실제로 구현하기 위한 최적의 방안을 도출할 수 있다.

〈표 1-1〉 연구의 목적

연구 목적	기대 효과
• 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 ‘항만의 탄소중립 이행·관리 표준(안)’ 제시 • 추후 주요 요구활동별 이행성과를 점검하기 위한 핵심 지표 도출 • 도입 및 활용방안 제시	• 국내 항만의 탄소중립 구현을 위한 실질적인 가이드라인 마련 → 전략적 이행-점검체계의 도입으로, 항만 탄소중립 이행·관리의 효과 및 효율성을 획기적으로 제고 • 해운 및 항만의 탄소중립을 위한 기술·정책 대안의 불확실성을 최소화할 수 있는 검증 기반 마련 • 주요 이행주체 및 이해관계그룹, 국내외 관련 규범을 효과적으로 이행함은 물론, 궁극적으로는 항만의 탄소중립 구현을 위한 최적 방안 도출 가능

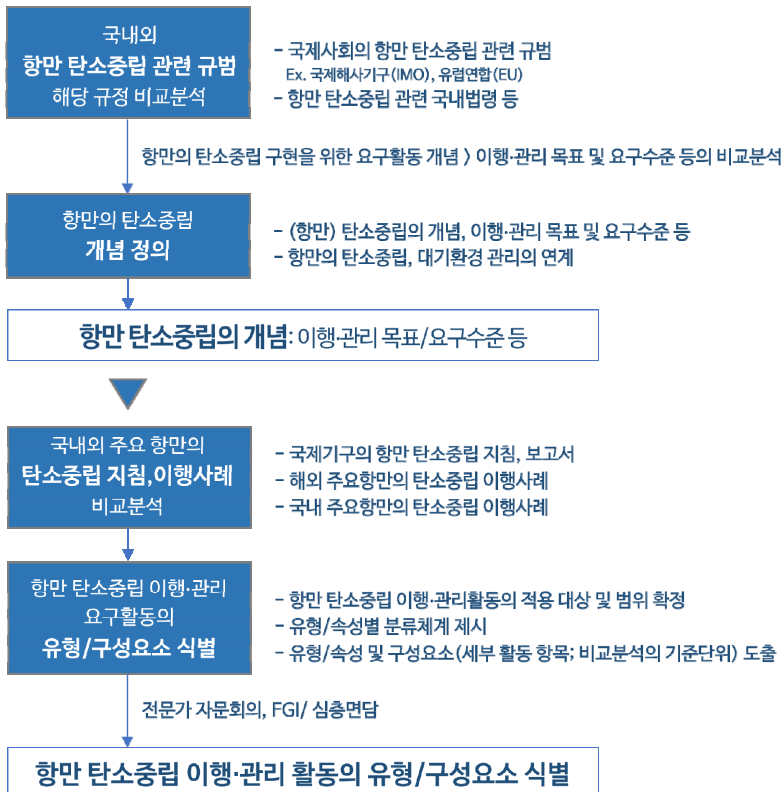
자료: 저자 작성

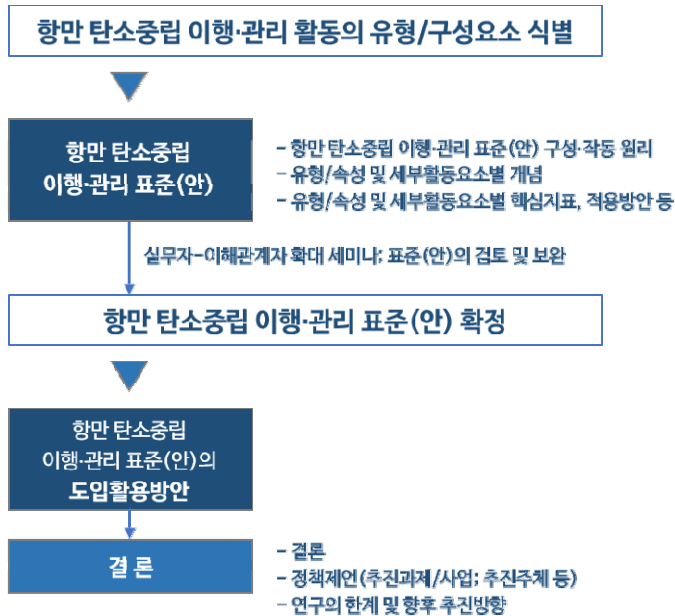
제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 범위 및 주요내용

본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 적용 가능한 기술·정책적 대안에 대한 검토를 통해 국내 항만의 현실에 부합하는 ‘탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 도출하고, 이를 도입·활용하기 위한 방안, 그리고 이와 관련한 정책화 제안사항을 제시하는 데 목적이 있다.

〈그림 1-1〉 연구의 주요내용 및 수행과정





자료: 저자 작성

이를 위해, 우선 제2장에서는 탄소중립의 이행을 규정하는 국내외 주요 규범의 현황을 조사하고, 이들에 대해서 키워드별 분류에 따른 비교분석을 수행하였다. 이를 통해 ‘탄소중립’의 개념 및 원리, 이에 따른 목표, 수준 등의 양상을 정리하고, 이를 바탕으로 항만에 요구되는 ‘항만 탄소중립’의 개념 및 이행·관리 목표 또는 요구 수준 등을 구체화하였다. 또한 이를 바탕으로, 항만의 탄소중립 이행과 상호연관 및 교차중복의 양상을 보이는 항만 대기환경 관리와의 연계성을 검토하였다.

〈표 1-2〉 항만 탄소중립의 개념 구체화

구 분	내 용	비 고
항만 탄소중립의 개념 구체화	탄소중립의 개념 검토	• 탄소중립 이행 요구 배경 • 탄소중립의 개념
	국내외 주요 규범 및 이행 전략 현황 조사 및 검토	• 국가별 탄소중립 추진방향 • 국가별 탄소중립 목표 • 관련 규범
	항만 탄소중립의 개념 구체화	• 항만 탄소중립의 개념 및 목표, 요구 수준 등 구체화 • 항만 대기환경 관리와 연계성 검토

자료: 저자 작성

제3장에서는 국제기구 및 주요국가의 가이드라인, 국내외 주요 항만의 이행 현황을 면밀하게 조사·검토하여, 제2장에서 구체화한 ‘항만 탄소중립’의 대상 및 범위를 제시하고, 이를 구현하기 위해 요구되는 이행·관리활동 요소를 식별하였다. 또한, 이들 세부 활동요소의 속성에 따른 유형(① 배출 모니터링, ② 이행·관리전략 수립, ③ 이행점검 및 결과반영, ④배출 저감·관리(직접), ⑤ 배출 저감·관리(자동화, 최적화, 에너지 그리드 구축·활용 등)) 구분을 통해 표준(안)의 체계를 구성하였다.

〈표 1-3〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구성요소 식별

구 분	내 용	비 고
항만 탄소중립 이행·관리 활동의 구성요소 식별	국내외 항만 탄소중립 이행사례 비교 분석	• 항만 탄소중립 관련 가이드라인 • 국내외 주요 항만의 이행사례
	항만 탄소중립 이행·관리활동의 구성요소 식별	• 적용 대상, 범위 • 주요 속성별 분류 • 속성별 구성요소 식별

자료: 저자 작성

제4장에서는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 제시하였다. 우선, 항만의 탄소중립 구현을 위해 요구되는 활동요소와 이들의 속성 구분에 따른 유형별 개념 및 작동원리를 정의하고, 체계의 상위 속성별 유형 및 유형별 속성에 포함되는 세부활동요소의 핵심지표를 각각 정리하였다. 또한, 항만의 탄소중립 이행의 체계적 접근을 위한 표준(안)의 도입, 그리고 이를 활용하기 위한 정책방안을 제시하였다.

〈표 1-4〉 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안) 도출

구 분	내 용	비 고
항만 탄소중립 이행·관리 표준(안) 도출	유형별 개념 및 구성원리 제시	• 배출 모니터링 • 이행·관리전략 수립 • 이행점검 및 결과반영 • 배출 저감·관리1: 직접 배출 저감·관리 • 배출 저감·관리2: 자동화, 최적화, 에너지 그리드 구성 등
	항만 탄소중립 이행·관리활동 표준(안) 도출	• 세부활동요소별 핵심지표 등
	도입 및 활용방안 제시	• 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련 • 이행점검 체계 개발 및 적용

자료: 저자 작성

마지막으로 제5장에서는 결론과 함께, 본 연구의 성과인 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 활용한 정책화 제안사항을 주요 추진과제와 함께 제시하고, 본 연구의 한계 및 후속 연구의 필요성을 제시하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 결과물은 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’과 이를 도입·활용하기 위한 정책방안으로 요약할 수 있으며, 표준(안)은 항만의 탄소중립 구현을 위한 주요 활동 구성요소의 유형별 분류체계(① 배출 모니터링, ② 이행·관리전략 수립, ③ 이행점검 및 결과반영, ④ 배출 저감·관리(직접), ⑤ 배출 저감·관리(자동화, 최적화, 에너지 그리드 구축·활용 등)), 유형별 속성 및 활동요소별 개념 정의 및 핵심지표 정도로 구성된다.

우선, ‘항만의 탄소중립’의 개념 및 요구 수준 등을 정의하기 위해 국제 기구 및 주요 국가의 탄소중립 관련 규범 및 국내외 주요 항만의 정책 사례, 관리·운영 지침 등에 대한 연구·문헌자료를 수집·조사하고, 주요 키워드별 비교분석(Comparative Analysis)을 수행하였다. 이어서, 사례 조사 및 비교분석 결과를 토대로 항만의 탄소중립 구현에 요구되는 활동 및 이를 식별하기 위한 지표, 요구 수준 등의 항만 탄소중립 이행·관리활동 리스트의 초안을 준비하였다. 이 과정에서 분석결과 및 이를 바탕으로 도출한 이행·관리활동 리스트 초안의 신뢰도를 제고하기 위한 방안으로, 국내외 관련 연구그룹 및 실무자들을 대상으로 핵심그룹 인터뷰(FGI)를 수행하고, 그 결과를 반영하였다.

연구를 통해 도출한 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’의 실효성을 검증하고 추후 활용의 폭을 확대하기 위해, 해양수산부 유관부서 담당자 및 학계·연구계, 이해관계그룹 전문가를 대상으로 표준(안)의 검토·보완을 위한 실무자-이해관계자 확대 세미나를 수행하였다.

제3절 선행 연구

1. 선행 연구

지구의 온난화로 인한 기후변화, 이로 인한 이상 기후 현상 및 복합재해가 최근 들어 더 이상 이론적인 화두가 아닌 현실적 위협으로 경험·인식되면서, 이른바 ‘기후 위기(Climate crisis)’ 또는 ‘기후 비상사태(Climate emergency)’를 방지하거나 회피하기 위한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 미세먼지 문제에 이어 더 이상 내일부터가 아닌 ‘지금 당장’, ‘적극적이고 공격적인’ 탄소중립의 실행을 위한 방안이 인류의 최우선 과제 중 하나로 부각되고 있는 시점이다.

과거부터 기후변화 또는 지구 온난화 등을 예측·전망하거나 이를 바탕으로 사회 분야 또는 산업적 측면의 대응방안 등을 탐구하는 연구 및 공식 보고서는, 독립적으로 또는 ‘지구의 지속 가능성(Sustainability)’ 관련 화두의 부분으로 다양하게 논의되어 왔다. 하지만, 국제사회가 지구의 온난화 정도를 억제하기 위해 2050년까지 ‘탄소중립’을 실현하기로 하는 목표를 정해 놓은 상황에서, 이를 구현하기 위한 정책적·기술적 방안의 불확실성이 여전히 큰 장애물로 작용하고 있으며, 같은 이유로 주요 이행주체가 이를 구현하기 위한 구체적인 방안이나 요구 수준 및 기준 등에 대해서도 통합적이거나 일관성 있는 지침 등은 국내외를 막론하고 미비한 수준에 머무르고 있다.

최근에는 탄소중립 전반에 대한 시나리오 작성 및 이를 위한 이행·관리 지표 설정 등을 다루는 연구가 국내외에서 시도되고 있는 것으로 조사되었으나, 항만 또는 항만의 주요 배출원인 해운 부문의 탄소중립 구현을 위한 이행체계 및 이를 평가·점검하기 위한 표준체계 등에 대한 본격 논의는 아

직 미흡한 것으로 보인다. 하지만, 항만의 대기질 개선 또는 해운 부문의 배출저감을 위한 대기오염물질 관리 측면의 요구활동 표준안을 제시하거나, 항만의 에너지 전환 등을 위한 연구 등은 최근까지 활발하게 수행되고 있는 것으로 나타났다. 이러한 선행연구들은 항만의 탄소중립과 대기환경 관리활동의 많은 부분이 중복되거나 긴밀하게 연관되어 있음을 감안할 때, 본 연구와 매우 중요한 접점을 가지는 것으로 이해할 수 있다.

〈표 1-5〉 선행 연구 검토

구 분	연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
주요 선행 연구	1 • 과제명: Study of Emission Control and Energy Efficiency Measures for Ships in the Port Area • 연구자(연도): IMO; Starcrest Consulting Group, LLC, CE Delft, Civic Exchange(2015) • 연구목적: 국가/지역 차원의 실제 이행을 위한 항만 내 선박의 배출저감, 전반적인 효율 개선방안 및 모범사례 식별, 제시	• 문헌조사, 사례 분석 • 이해관계자 대상 설문조사, 분석 • 전문가 인터뷰	• 항만 내 선박의 배출저감을 위한 기존의 효과적인 규제방안 검토, 개별 규제방안별 저감효과 및 감소비용 등 제시 • 배출관리방안의 도입장벽(기술, 운영 및 상업적 측면)의 식별, 해결방안 제공 • 에너지 효율 개선, 최적화를 위한 인센티브 제도, 모범사례 제시
	2 • 과제명: 탄소중립 시나리오 작성 및 이행점검체계 구축을 위한 기획 연구 • 연구자(연도): 이창훈 외 (2021) • 연구목적: 정부의 탄소중립 시나리오 작성을 위해, 핵심지표를 선별하는 한편, 우리나라 탄소중립 목표 추진에 적합한 이행점검체계 제시	• 문헌조사 • 사례별 비교분석	• 탄소중립 시나리오의 국외 사례 검토를 통해, 시나리오 작성 시 주요사항과 시나리오 핵심지표 선별, 시사점 도출 • 온실가스 감축 이행점검에 대한 국내외 사례 검토 및 시사점 도출 • 2050 탄소중립 이행점검 체계(안) 제시
	3 • 과제명: 항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구 • 연구자(연도): 안용성 외 (2020)	• 문헌조사 • 핵심그룹 인터뷰 (FGI), 전문가 세미나	• 국내외 항만의 대기환경 관리·운영 가이드라인 및 평가체계 사례 조사 및 분석

구 분	연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
	연구목적: 항만지역 대기질 개선을 위한 특별법 및 관련 법령의 준수 이행을 위해, 국내 항만의 현실에 부합하는 관리활동의 표준(안) 및 최적 평가모형 개발	- 사례별 비교·분석 - 전문가 대상 설문조사, 계층화 분석(Fuzzy)	- 국내 항만의 대기환경 관리·운영 표준(안) 및 평가모형(안) 제시 - 피지 분석을 위한 설문조사 설계, 수행 - 관리·운영 표준(안) 및 평가모형 도입 및 활용 방안 제시
관련 규범	1 - 과제명: 탄소중립기본법의 의의와 향후 법적 과제 - 연구자(연도): 한상훈, 마아랑 (2021) - 연구목적: 「탄소중립·녹색성장 기본법」의 제정 의의 및 한계 검토를 통해 향후 입법과제 제시	문헌조사, 분석	- 탄소중립기본법의 주요 내용 검토 - 탄소중립기본법의 의의 및 한계 도출 - 향후 입법과제 제시
	2 - 과제명: 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법의 제정 의의와 그 이행을 위한 향후 과제 - 연구자(연도): 이준서(2021) - 연구목적: 탄소중립기본법의 주요 내용 분석을 통해, 정책과 법제 간의 연계를 확보하기 위한 고려사항, 녹색성장법의 한계를 극복하기 위한 법적 과제 제시	- 문헌조사 - 법리 분석	- 탄소중립기본법의 제정 의의, 내용 분석을 통한 한계 도출 - 탄소중립기본법의 이행을 위한 향후 과제 도출
에너지 관리	3 - 과제명: 항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구-부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 - 연구자(연도): 김근섭 외 (2021) - 연구목적: 항만의 전기에너지 소비 최적화를 위한 기술과 정책대안 및 로드맵 제시	- 문헌조사 - 딥러닝 기반의 LSTM 알고리즘 적용, 장기 전기에너지 소비량 추정, 분석	- 해의 항만의 에너지 관리 정책 사례 검토 - 부산항 신항의 전기에너지 소비량 전망 및 분석 - 부산항 신항의 전력 공급 소요 전망 및 분석 - 마이크로 그리드 기반의 부산항 신항 전력 관리 방안 제시

자료: 저자 작성

2. 본 연구의 차별성

앞서 살펴본 바와 같이 온실가스 배출 전망에 따른 탄소중립 전반에 대한 시나리오 분석 및 이행점검 체계 등을 구축하고자 하는 연구가 최근 들어 시도되고 있으나, 항만의 탄소중립을 이행·점검하기 위한 유효 방법론의 검토, 이에 따른 가용 정책·기술 인벤토리 및 이를 종합하는 표준 이행·점검체계²⁾에 대한 논의는 미흡한 상황으로 보인다.

본 연구는 국내외 관련 규범 및 주요 연구 등을 통해, 아직까지 국내외에서 명확하게 규정된 바 없는 ‘항만 탄소중립’과 이를 위한 주요 요구활동, 유형의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하였다. 이를 바탕으로 국내 항만의 현실에 부합하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’, 즉 탄소중립 이행·관리활동의 유형 및 개념을 구체화하고, 표준안의 체계 및 항목 등을 도출하는 한편, 효과적 이행을 위한 도입 및 활용방안을 제시하였다.

〈표 1-6〉 본 연구의 차별성

구 분	선행 연구 검토		
	연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
본 연구	본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는 이행·관리활동의 개념 및 작동·구성 원리 등을 정립하고, 이에 따른 표준안 및 도입·활용방안 제시	- 국내외 문헌조사 및 비교·분석 - 탄소중립 관련 국내외 주요 규범 - 국내외 주요 항만의 탄소중립 이행사례 - 핵심그룹 인터뷰(FGI), 전문가 세미나	- 국내외 주요 항만의 탄소중립 정책 및 사례 검토 - 항만 탄소중립 이행·관리활동의 개념 정의, 구분에 따른 핵심지표 및 분류체계 도출 - 항만 탄소중립 이행·관리 표준(안) 제시 - 표준안의 도입 및 활용방안 제시

자료: 저자 작성

2) 이는 기술의 발전 또는 사회경제적 환경 변화에 따라서 지속적으로 업데이트되어야 하며, 이러한 이유로 이에 대한 연구 및 논의가 활발하게 이루어져야 할 필요가 있음

02

항만 탄소중립의 개념

제2장에서는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’, 즉 항만의 탄소중립 구현을 위해 요구되는 활동을 식별·정리하기에 앞서, 탄소중립의 개념, 나아가 ‘항만의 탄소중립’의 개념, 즉 이행·관리활동이 지향해야 하는 방향을 설정한다. 이를 위해, 탄소중립 개념의 출현 배경, 원리, 그리고 주요 국가의 추진 전략 및 이행현황 등의 비교분석을 통해 ‘탄소중립’의 개념을 정립하고, 이를 바탕으로 주요 항만의 탄소중립 이행정책의 비교분석을 통해 ‘항만의 탄소중립’의 개념 및 지향해야 하는 원칙 및 수준 등을 구체화하였다. 마지막으로, 항만의 탄소중립과 정책 및 기술 적용 등 많은 측면에서 상호연관 및 교차중복을 보이는 ‘항만의 대기환경 관리’와의 연계성을 검토하였다.

제1절 탄소중립의 개념

1. 배경

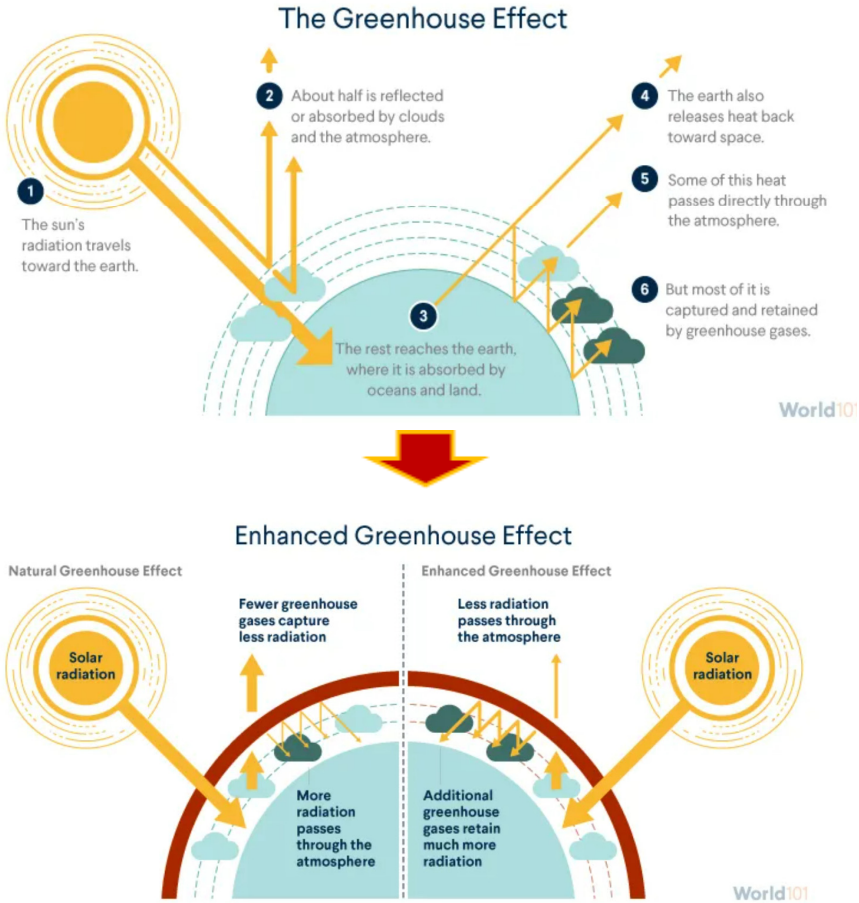
1) 지구 온난화

우리가 사는 지구는 태양으로부터 들어오는 짧은 파장의 태양 복사에너지는 통과시키는 반면, 지구로부터 나가려는 긴 파장의 복사에너지는 흡수하는 ‘온실효과’를 통해 지구상 생물이 생존 가능한 온도를 유지한다.³⁾ 현재 많은 이들에게 부정적인 의미로 인식되고 있는 ‘온실효과’는 본질적으로 우리의 생존을 가능케 하는 자연작용으로, 대기 중의 온실가스에 흡수된 장파 복사에너지는 지표면의 보온, 대기온도의 일정한 상승, 나아가 우리의 생존을 가능하게 하는 환경의 조성 및 유지에 기여하고 있다.

하지만, 산업혁명 이후 다양한 산업활동으로 인한 온실가스의 배출이 지속적으로 증가함에 따라서 지구의 대기 중 온실가스 농도가 증가하고, 이에 따라서 지표온도가 과도하게 상승하는 ‘지구 온난화(Global warming)’ 현상이 발생하고 있다. 지속적인 배출 규모의 증가, 이로 인한 대기 중 온실가스 농도 증가에 따른 ‘과도한 온실효과(Enhanced greenhouse effect)’가 지구 온난화 메커니즘의 주요인이라고 할 수 있다.

3) 기후변화홍보포털(검색일: 2022.6.19.)

〈그림 2-1〉 과도한 온실효과(Enhanced Greenhouse Effect) 개념



자료: World101(2022)(검색일: 2022.6.19.)을 바탕으로 저자 재편집

지구의 온난화로 인한 이상기후 현상은 이미 세계 곳곳에서 빈번하게 발생하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 '제6차 평가보고서'(2021)에 따르면, 인간의 영향에 의해 과거 2,000년간 유례없이 빠른 속도로 지구의 온난화가 진행되고 있으며, 이에 따른 기후변화는 폭염, 호우, 가뭄, 열대성 저기압 등 극한 기상 및 극한 기후 발생의 주요인으로 지목되고

있다. 동 보고서에 따르면, 2019년 대기 중 CO₂의 농도는 과거 200만 년 중, CH₄ 및 N₂O의 경우 80만 년 중 최고 수준으로 관측되고 있으며, 지구 표면온도 역시 1750년 이후 가장 빠르게 증가하고 있다. 이에 따라서, 2011~2020년 사이 연평균 북극 해빙 면적은 1850년 이후 최저 수준으로 관측되고 있으며, 평균 해수면 상승 속도 역시 과거 3,000년 이래 가장 빠른 것으로 나타나고 있다.⁴⁾ 이와 관련하여, 1950년대 이후 폭염과 같은 극한고온 현상의 빈도가 많아지는 반면 한파 등의 극한저온의 빈도는 줄어들고 그 강도 역시 약해지고 있으며, 호우 역시 빈도가 많아지고 그 강도 역시 강해지고 있다. 하지만, 동시 다발적인 폭염과 가뭄 역시 증가하고 있으며, 동시에 복합적 홍수의 빈도 및 강도 역시 증가하고 있다.⁵⁾

또한, 동 보고서는 신규 온실가스 경로(SSP)에 따른 총 5가지 배출 시나리오를 분석한 결과 지구 표면온도는 지속적으로 상승할 것으로 예측하였으며, 향후 온실가스 배출을 극적으로 저감하지 못하는 경우 금세기 내에 지구 온난화 수준이 1.5°C는 물론 2°C를 넘어설 것으로 평가하였다.⁶⁾

2) 1.5°C 시나리오

날로 심각해지는 기후위기(Climatic crisis)에 대한 경각심으로, 2016년 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회는 지구온난화 방지를 위해 전 지구적으로 온실가스 배출을 줄이기 위한 ‘파리협정(Paris Agreement)’을 채택하였다. 이를 통해, 지구 평균기온의 상승을 산업화 이전 대비 2°C보다 훨씬 아래로 유지하고, 1.5°C 이내로 억제하기 위해 노력하기로 하는 목표에 대한 합의가 이루어졌다.

4) IPCC(2021), 제6차 평가보고서(AR6, 2021), p. 8.

5) IPCC(2021), 제6차 평가보고서(AR6, 2021), pp. 10-11.

6) IPCC(2021), 제6차 평가보고서(AR6, 2021), pp. 14-17.

또한, 당사국총회의 요청으로 IPCC는 2018년 특별 보고서 ‘Special Report Global Warming of 1.5°C’를 통해 산업화 이전 수준 대비 지구 평균온도의 1.5°C 상승, 2°C 상승으로 인한 영향, 온실가스 배출경로에 따른 전망을 제시하였다. 이에 따르면, 우선 현재(2021년)와 향후 1.5°C까지 상승하는 케이스, 1.5°C와 2°C 상승하는 케이스 각각에 대한 기후 특성의 변화 정도는 통계적으로 유의미한(Robust) 차이가 있으며, 다시 말해 해당 비교 케이스의 지구 평균온도 상승 정도의 차이에 따라서 극한 고온 및 호우 증가, 일부 지역에 대한 동시다발적 가뭄 및 강수 부족 등 극한 기후 및 기상현상, 그리고 이로 인한 자연재해의 발생 빈도 및 강도에 명확한 차이가 발생할 것으로 예측하였다. 따라서, 상승온도를 1.5°C 이내로 억제하는 경우 생물 다양성, 건강, 생태계, 식량안보, 인간 안보 및 경제 성장 등에 대한 직접적 위험이 2°C 이상 상승하는 경우보다 대폭 감소하게 된다.

또한 동 보고서는, 2100년까지 지구 평균기온 상승을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서는 전 지구적으로 2030년까지 CO₂ 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하고, 2050년경에는 탄소중립(Net zero)을 달성하여야 한다는 경로를 제시했다.⁷⁾

7) IPCC(2018), p. 14.

2. 탄소중립

1) 제도적 근거

2015년 1.5°C 시나리오에 근거한 파리협정의 채택으로, 당사국은 2016년부터 자발적으로 온실가스 감축목표를 제출한 데 이어서, 2020년까지 ‘장기 저탄소 발전전략(LEDs)’과 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 제출하기로 합의한 바 있다. 이후, 2018년에는 IPCC의 특별 보고서 ‘Special Report Global Warming of 1.5°C’를 통해 지구 평균온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하는 목표의 과학적 근거를 마련하였다.

이후, 2019년 9월 뉴욕에서 개최된 기후정상회의에서 세계 65개 국가가 탄소중립을 선언한 바 있으며, 같은 해 12월 유럽연합(EU)이 2050년까지 탄소중립 구현을 목표로 하는 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’ 정책을 발표하면서, 중국(2060년 이전까지)과 일본(2050년까지), 미국(2050년까지) 역시 탄소중립을 선언하였다. 우리 정부 역시 ‘2050 탄소중립’을 선언(2020.10.28.)하고, 이를 이행하기 위해 ‘탄소중립 추진전략’ 및 ‘2050 장기저탄소 발전전략’⁸⁾을 발표하였다.

2) 개념 분석

‘탄소중립’이란, 인간 활동에 의한 온실가스 배출을 최대한 저감하고, 배출된 온실가스는 산림 등 순흡수원을 활용하거나 탄소 포집·저장 기술을 이용해 제거함으로써, 배출되는 탄소와 흡수되는 탄소량이 같게 되는 상태 즉, 순배출이 ‘0’이 되는 개념으로 이해할 수 있다.⁹⁾ 2022년 8월 기준으로, 총 198개국이 탄소중립을 공식적으로 선언했거나 문서화 또는 법제화

8) 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략

9) 탄소중립 녹색성장위원회 홈페이지(검색일: 2022.6.23.)

하였으며,¹⁰⁾ 대부분 이를 달성하기 위한 목표 기한 및 수준, 이를 달성하기 위한 전략 등을 함께 제시하고 있다.

주요 국가들이 제시한 탄소중립의 개념은 크게 ‘Climate neutrality’ 및 ‘Carbon neutrality’, 그리고 ‘Net zero’의 3가지로 구분할 수 있다. 우선, ‘Climate neutrality’와 ‘Carbon neutrality’는 기후변화에 악영향을 미치는 온실가스에 대해 인간 활동에 의한 배출을 순흡수와 제거를 통해 ‘순배출=0’ 즉, 중립상태로 만드는 개념으로, 대상이 되는 온실가스로 구분할 수 있다. ‘Climate neutrality’의 경우, 1997년 12월 교토의정서에서 규정한 6대 온실가스, 즉 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화화합물(PFCs), 육불화황(SF₆)에 대한 중립을 의미한다. 반면, ‘Carbon neutrality’는 6대 온실가스 중 CO₂만을 대상으로 한다. CO₂ 배출량을 상쇄할 정도의 CO₂ 흡수 대책을 세우거나, 탄소배출권 등의 추가적 조치를 통해 중립상태를 구현하는 것이다. ‘Net zero’ 개념의 경우, ‘Climate neutrality’와 사실상 같은 의미로 이해할 수 있으나, 대상 국가의 정책방향에 따라서 선택적으로 사용되고 있는 것으로 파악된다. 역시 온실가스 ‘순배출’을 제로화하는 개념으로, ‘Climate neutrality’와 마찬가지로 6대 온실가스를 모두 포함한다. 정리하면, ‘Climate neutrality’와 ‘Net zero’는 유사한 개념으로 통용되고 있으며, 6대 온실가스를 관리 대상으로 하여 CO₂에만 집중하는 ‘Carbon neutrality’에 비해 보다 광범위한 대기 오염물질 배출저감 이행 방안이 요구된다.

주요 국가에서 선언한 탄소중립의 개념을 살펴보면, 우리나라를 비롯하여 미국, 영국, 일본 등 많은 국가들이 탄소중립의 개념을 정립함에 있어 ‘Net zero’, 네덜란드와 독일은 ‘Climate neutrality’ 표현을 사용하고 있다. 반면, 중국의 경우 ‘Carbon neutrality’의 표현으로 CO₂에 대한 관리를 중심으로 정책을 마련하고 있다.

10) Net Zero Tracker 홈페이지(검색일: 2022.6.30.)

〈표 2-1〉 국가별 탄소중립 개념 및 대상 온실가스

국가	탄소중립 개념	대상 온실가스					
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
미국	Net zero	O	O	O	O	O	O
네덜란드	Climate neutrality	O	O	O	O	O	O
독일	Climate neutrality	O	O	O	O	O	O
영국	Net zero	O	O	O	O	O	O
싱가포르	Net zero	O	O	O	O	O	O
중국	Carbon neutrality	O	X	X	X	X	X
일본	Net zero	O	O	O	O	O	O
한국	Net zero	O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성

제2절 국내외 관련 규범 비교

1. 국가별 탄소중립 추진방향

주요 국가들은 탄소중립 구현을 위한 계획을 수립하고, 이를 통해 비전 및 구체적인 전략 등을 제시하고 있다. 우선, 미국은 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 계획의 일환으로, 2021년 11월 ‘2050년 넷-제로 실현을 위한 장기전략(The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)’을 발표하였다.¹¹⁾ 해당 보고서는 국가의 탄소중립 비전을 ‘Reduce greenhouse gas emissions to net-zero by 2050’으로 설정하고, 이를 위한 세부전략, 그리고 정부를 포함한 사회 각 분야에 요구되는 이행사항 등을 제시하고 있다. 또한, 탄소중립을 위한 5개 주요 혁신사업으로, ① 전력의 탈탄소화(100% carbon-free electricity), ② 건물·산업·교통 부문의 청정연료 전환(Renewable solutions for the building, industry, and transportation), ③ 에너지 절감(Energy conservation), ④ CO₂ 외 온실가스(CH₄, N₂O, HFCs 등)의 배출 저감(Reduction of non-CO₂ greenhouse gas emissions), ⑤ CO₂ 제거(Carbon removal)를 명시하였다.¹²⁾

영국은 2021년 10월, 탄소중립 구현을 위한 전략 보고서 ‘넷-제로 전략(Net Zero Strategy: Build Back Greener)’을 발표하고, 이를 통해 탄소중립 비전을 ‘Achieve net-zero emissions by 2050’으로 제시하였다.¹³⁾ 해당 전략은 2020년 발표한 ‘녹색 산업혁명 추진을 위한 10대 중점

11) United States Department of State and the United States Executive Office of the President(2021), The Long-Term Strategy of the United States, p. 9.

12) United States Department of State and the United States Executive Office of the President(2021), The Long-Term Strategy of the United States, p. 18.

13) UK, Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2021), Net Zero Strategy: Build

계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)’과 ‘에너지백서 2020(Energy White Paper 2020)’에서 제시된 온실가스 감축 전략 내용을 포괄적으로 수정·보완하였으며, 에너지원(Power), 연료공급 및 수소(Fuel supply and hydrogen), 산업(Industry), 난방에너지 및 건물(Heat & buildings), 운송(Transport), 자연자원, 폐기물 및 불소 화합물(Natural resources, waste & fluorinated gases), 온실가스 제거(Greenhouse gas removals)의 총 7개 부문에 대한 주요 추진사항을 제시하였다.¹⁴⁾

〈그림 2-2〉 The Long-Term Strategy of the United States



자료: United States Department of State and the United States Executive Office of the President(2021)

〈그림 2-3〉 Net Zero Strategy: Build Back Greener



자료: UK, Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2021)

Back Greener, p. 39

14) UK, Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2021), Net Zero Strategy: Build Back Greener, pp. 19-34.

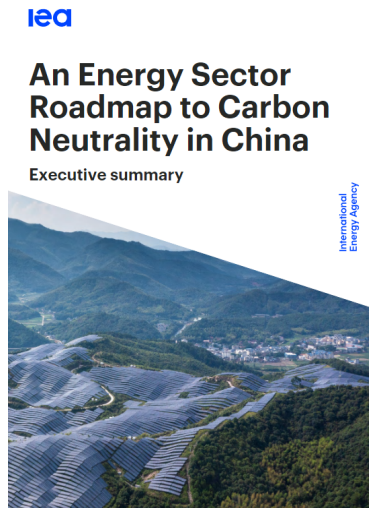
싱가포르는 2021년 2월, ‘2030 싱가포르 녹색 계획(Singapore Green Plan 2030)’을 통해, 탄소중립 비전 ‘Achieve Net-Zero emissions by 2050’을 발표하였다.¹⁵⁾ 해당 계획은 2050년까지 ‘Net-Zero emssion’을 실현하기 위한 6대 혁신 분야를, ① 자연 도시(City in nature), ② 지속 가능한 생활(Sustainable living), ③ 에너지 재설정(Energy reset), ④ 녹색 경제(Green economy), ⑤ 회복탄력적인 미래(Resilient future), ⑥ 친환경 정부(Green government)로 구분하고, 이들에 대한 세부 실천방안을 각각 제시하였다.¹⁶⁾

〈그림 2-4〉 Draft National Strategy on Spatial Planning and the Environment



자료: Government of the Netherlands (2019)

〈그림 2-5〉 An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China



자료: IEA (2021)

15) Singapore Green Plan 2030(검색일: 2022.7.29.)

16) Singapore Green Plan 2030(검색일: 2022.7.29.)

일본은 2021년 1월, 「2050년 탄소중립 구현을 위한 녹색성장 전략 (Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050)」을 수립하고, 비전으로 온실가스의 Net-Zero와 저탄소 경제의 구현 즉, ‘Achieve net zero GHG emissions by 2050’ 및 ‘Transform itself into a low-carbon economy’를 제시하였다.¹⁷⁾ 이를 실현하기 위해, 해상 풍력·태양·열에너지(Offshore wind power, solar, heat energy), 수소·암모니아(Hydrogen, fuel ammonia), 차세대 열에너지(Next-generation heat energy), 원자력(Nuclear power), 자동차·배터리(Automobile, storage batteries), 반도체·정보통신(Semiconductors, info), 해운(Shipping) 등을 포함하는 총 14개 분야에 대한 실행계획을 제시하였다.

네덜란드는 ‘2050년까지 ‘Environment to be Climate resilient and water robust’을 비전으로, 2019년 8월 ‘공간 계획 및 환경 부문에 대한 국가 전략(Draft National Strategy on Spatial Planning and the Environment)’을 발표하였다.¹⁸⁾ 주로 신재생에너지의 개발·보급·확대를 위한 전략 및 추진사업에 대한 내용으로, ① 에너지 전환 및 기후변화 적응을 위한 공간(Space for climate adaptation and energy transition), ② 지속가능한 경제성장 잠재력(Sustainable economic growth potential), ③ 건강도시와 지역(Strong and healthy cities and regions), ④ 미래형 농촌 개발(Future-proof development of rural areas)의 4개 부문에 대한 탄소 배출저감 방안을 제시하였다.¹⁹⁾

독일은 ‘2045년까지 Net-Zero CO₂ 구현’을 비전으로, 2019년 9월 「독일 2030 기후행동 대책 패키지(Germany’s 2030 climate action package)」를 발표하였다.²⁰⁾ 특히, 탄소중립 실현의 목표 시점을 2045년

17) Japan, The Ministry of Economy, Trade and Industry(2020.12.25.)(검색일: 2022.8.16.)

18) Rijksoverheid Website(검색일: 2022.7.15.)

19) Government of the Netherlands(2019), pp. 79-123.

20) German Federal Government(검색일: 2022.7.23.)

으로 앞당기고, 이를 위한 방안으로 Non-ETS(배출권 거래제 비대상 분야)에 대한 탄소 가격제도(Carbon pricing)의 도입, CO₂ 포집·저장 및 활용(CCUS) 기술 개발, 배터리셀 공장 건설 등에 대한 연구개발 계획 및 재정 지원 사항 등을 제시하였다.²¹⁾

현재 세계 최대 탄소 배출국인 중국의 경우, 2060년까지 ‘Carbon neutrality’에 도달하기 위해 2021년 10월 「중국의 탄소중립을 위한 에너지 부문 로드맵(An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China)」을 발표하였다. 해당 로드맵을 통해 ‘1+N’ 정책 체계와 함께 에너지, 산업, 교통·운송, 건설 분야에 대한 탄소중립 추진 방향을 수립하였다. 이를 통해, 국가 비전을 ‘Achieve CO₂ emissions peak before 2030’ 및 ‘Achieve carbon neutrality before 2060’으로 제시하였다. ‘1+N’ 정책 체계에서 ‘1’은 ‘2060 탄소중립 구현의 최종 비전’을 의미하며, ‘N’은 해당 비전을 달성하기 위해 각 지역과 산업 분야에서 추진해야 할 30여 개 탄소중립 과제를 의미한다.²²⁾

우리 정부 역시, 2020년 7월에 발표한 ‘「한국판 뉴딜」 종합계획’에서 ‘선도국가로 도약하는 대한민국 대전환: 탄소 의존 → 저탄소 경제’ 및 ‘2050년까지 탄소중립 실현’의 국가 탄소중립 비전을 제시하였다.²³⁾ 이를 달성하기 위한 방안으로, 그린 리모델링,²⁴⁾ 그린 에너지,²⁵⁾ 친환경 미래 모빌리티²⁶⁾ 등을 포함한 다양한 친환경 정책의 도입 계획을 발표하였으며, 현재 탄소중립을 위한 구체적인 시행방안을 담은 ‘국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(1차)’을 수립하고 있다. 또한, ‘2050 탄소중립 추진 전략’을 통해

21) German Federal Government, Climate Action Programme 2030(검색일: 2022.7.23.)

22) 中國政府網(2022.9.23.)(검색일: 2022.9.27.)

23) 관계부처 합동(2020.7.), p. 6.

24) 그린 리모델링: 공공 건물에 신재생에너지 설비·고성능 단열재 등을 사용하여 친환경·에너지 고효율 건물 신축·리모델링

25) 그린 에너지: 신재생에너지 확산 및 다각화로 저탄소·친환경 국가로 도약

26) 친환경 미래 모빌리티: 전기·수소 중심 그린 모빌리티 확대로 오염물질 감축 및 미래 시장 선도

추진 경로 및 시나리오를 제시하였으며, 에너지 전환, 녹색기술 개발, 탈탄소 산업 구조 등을 위한 추진하기 세부계획을 제시하였다.²⁷⁾

〈표 2-2〉 국가별 탄소중립 비전 비교

구 분	국가	탄소중립 비전	관련 계획
6대 온실가스	미국	• Reduce greenhouse gas emissions to Net-Zero by 2050	• The long-term strategy of the united states
	영국	• Achieve Net-Zero emissions by 2050	• Net Zero Strategy: Build Back Greener
	싱가포르	• Achieve Net-Zero emissions by 2050	• Green plan 2030
	일본	• Achieve net zero GHG emissions by 2050 • Transform itself into a low-carbon economy	• Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050
	한국	• 선도국가로 도약하는 대한민국 대전환: 탄소의존 → 저탄소 경제 • 2050년까지 탄소중립 실현	• 「한국판 뉴딜」 종합계획 • 국가 탄소중립 녹색성장 기본 계획(수립 중) ²⁷⁾
CO ₂	네덜란드	• By 2050, built environment to be Climate resilient and water robust	• Draft National Strategy on Spatial Planning and the Environment
	독일	• Achieve Net-Zero CO ₂ by 2045	• Germany's 2030 climate action package
	중국	• Achieve CO ₂ emissions peak before 2030 • Achieve carbon neutrality before 2060	• An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China

자료: 저자 작성

27) 기획재정부(2020.12.), p. 7.

2. 국가별 탄소중립 목표

우리나라를 포함한 전 세계 195개국은 2015년 COP 21에서 채택된 파리협정(Paris Agreement) 이래로, 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2℃ 이하로 유지하는 목표에 공동으로 대응하고 있다. 협정에 따라서 개별 당사국은 자체적으로 온실가스 감축목표(NDC)를 정하여 5년마다 제출하여야 하며, 그 이행 상황을 점검받아야 한다. 이어서, 2021년 10월에 영국 글래스고에서 열렸던 제26차 당사국총회(COP 26)에서는 ‘글래스고 기후 합의(Glasgow Climate Pact)’가 채택되었으며, 국제사회는 2015년 COP 21에서 채택된 파리협정(Paris Agreement)보다 강화된 수준, 즉 평균온도의 상승을 산업화 이전 대비 1.5℃ 이내로 억제하는 목표에 대한 합의를 이루어냈다. COP 26 이후 많은 국가에서 온실가스 감축목표를 더욱 강화하고 있다.

유럽 국가들은 유럽연합(EU)을 중심으로 지구온난화 문제에 보다 선제적으로 대응해오고 있다. 우선, 네덜란드와 영국은 주요 선진국 중 가장 먼저 탄소중립 목표를 발표했다. 네덜란드는 2015년 파리협정에 참여한 후 탄소 감축의 본격 추진을 선언하고,²⁸⁾ 기후변화에 대응하기 위해 2019년 7월 ‘2030년까지, 온실가스 배출량을 1990년 대비 49%, 2050년까지 95% 감축’하겠다는 목표를 수립하였다.²⁹⁾ 영국 역시, 2019년 ‘2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 68% 감축하고, 2050년까지 탄소중립을 실현’하겠다는 목표를 수립하였다.³⁰⁾

싱가포르의 2016년 4월 파리협정에 동참한 이후, 2020년 3월 새로 갱신된 ‘국가 온실가스 감축목표(NDC)’를 유엔기후변화협약(UNFCCC)에

28) Groenlinks website(2018.6.27.)(검색일: 2022.7.16.)

29) Government of the Netherlands(검색일: 2022.7.16.)

30) UK Government(검색일: 2022.7.17.)

제출하였다.³¹⁾ 2030년 전후에 국가 탄소 배출량이 6,500만 톤 정도로 최고치를 기록할 것으로 예상하였으며, 2050년까지 탄소 배출량을 최고치의 절반 수준인 3,300만 톤가량으로 감축을 목표로 설정하였다.³²⁾ 중국은 2020년 9월 UN 회의에서 '2030년 이전 탄소 배출의 정점, 2060년 이전까지 탄소중립 달성' 목표를 대외적으로 선언하고, 2021년 10월 COP 26을 앞두고 이를 위한 마스터플랜과 탄소피크 관련 실천계획 등을 잇달아 발표하였다.³³⁾ 중국은 2060 탄소중립을 달성하기 위해 2025년까지 탄소중립 정책 기반을 조성할 예정이다.³⁴⁾ 일본은 COP 26에서 '2050년 탄소중립'을 선언하고, 2020년 3월 온실가스 배출량을 2030년까지 2013년 대비 26% 감축하는 다소 보수적인 목표를 수립하였다. 그러나, 2021년 4월 지구온난화 대책 추진본부의 결정을 바탕으로 '2030년까지 2013년 대비 46% 감축'으로 목표를 수정하였다.³⁵⁾

우리 정부는 2020년 10월 '2050 탄소중립'을 처음 천명하고, 이어서 같은 해 12월 국무회의에서 「2050 장기 저탄소 발전전략(LEDs)」과 '2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)' 정부안을 발표하였다.³⁶⁾ 또한, 2050년까지 탄소중립을 실현하기 위해 2030년까지 2018년 대비 40% 감축하도록 하는 중간목표를 제시하였다.

독일은 2015년 파리협정을 이행하기 위해, 다소 늦은 2021년 '2045년까지 탄소중립' 목표를 발표하였다.³⁷⁾ 2045년 탄소중립을 실현하기 위해, 중기 목표 연도인 2030년까지 온실가스 배출을 1990년 대비 65% 감축하고, 2040년까지는 88% 감축할 계획이다.³⁸⁾

31) Singapore's Climate Action Plan(검색일: 2022.9.30.)

32) Singapore Government(2022)(검색일: 2022.7.23.)

33) 中國政府網(2021.10.23.)(검색일: 2022.9.27.)

34) 中國能源部(검색일: 2022.9.27.)

35) UNFCCC(검색일: 2022.8.13.)

36) 대한민국 정책브리핑, 2050 탄소중립(검색일: 2022.8.27.)

37) Enerdata, Germany aims to reach carbon neutrality by 2045(검색일: 2022.9.29.)

트럼프 행정부 당시 파리협정에서 탈퇴하였던 미국은, 바이든 행정부 출범 이후 협정에 재가입하면서 2021년 11월, '2030년 온실가스 감축 목표를 2005년 대비 50~52%'로 설정하고, '2050년까지 탄소중립 달성'하는 목표를 수립하였다.³⁹⁾

살펴본 바와 같이, 대부분의 주요 국가들은 중간 목표기점을 2030년으로 설정하고, 미국, 독일, 영국, 중국, 일본 및 우리나라는 최종 목표시점까지 탄소중립 100%를 실현하겠다고 선언하였다. 반면, 일부 국가(네덜란드, 싱가포르)는 현실적인 측면을 고려하여 보다 보수적인 목표 수치를 제시하였다.

〈표 2-3〉 국가별 탄소중립 목표 비교

국가	발표 연도	기준 연도	중간 목표시점	최종 목표시점	감축 목표
네덜란드	2019년	1990년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 49% 감축 • 2050년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 95% 감축
영국	2019년	1990년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 68% 감축 • 2050년까지 탄소중립 실현
싱가포르	2020년	2005년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 최대 배출량 65 MtCO₂°로 설정하고, 2005년 대비 36% 감축 • 2050년까지 2030년 온실가스 배출량 절반, 33MtCO₂°로 설정하고, 2005년 대비 72% 감축
중국	2020년	-	-	2060년	• 2030년 이전 CO₂ 배출량 정점 • 2060년 이전 탄소중립 실현
일본	2020년	2013년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 2013년 대비 46% 감축 • 2050년까지 탄소중립 실현

38) Bundesregierung Website(검색일: 2022.8.17.)

39) The white house(검색일: 2022.8.19.)

국가	발표 연도	기준 연도	중간 목표시점	최종 목표시점	감축 목표
한국	2020년	2018년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 2018년 대비 40% 감축 • 2050년까지 탄소중립 실현
독일	2021년	1990년	2030년	2045년	• 2030년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 65% 감축 • 2040년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 88% 감축 • 2045년까지 탄소중립 실현
미국	2021년	2005년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 2005년 대비 50~52% 감축 • 2050년까지 탄소중립 실현

자료: 저자 작성

3. 관련 법령

현재까지 약 20개 국가가 탄소중립 관련 법제화를 통해 보다 적극적으로 대응하고 있으며, 탄소중립을 법제화하지는 않았으나 명확한 목표 연도를 선언하거나 문서화한 국가는 총 79개국으로, 미국, 싱가포르, 중국 등이 대표적이다.⁴⁰⁾

우선, 네덜란드는 2019년 7월, 「기후법(Climate law)」을 제정함으로써 2050년 탄소중립의 목표를 법제화하였다. 또한, 항만의 주요 배출원과 선박의 대기오염물질 배출을 저감하기 위해 2015년 7월에는 1983년 12월 유럽 최초로 제정된 선박 대기오염물질 규제 법률인 「선박 오염물질 보호법(Prevention of Pollution from Ships Act)」을 개정하였다. 독일은 2019년 8월, 「연방 기후보호법(Federal Climate Change Act)」을 제정하고, 2050 탄소중립의 목표를 달성하기 위해 에너지 경제, 산업, 교통, 건물, 농업, 폐기물 및 기타, 총 6개 분야의 연도별 온실가스 배출량을 규정하였다. 또한 책임 소재를 명확히 하기 위해 연간 배출량의 관리를 맡을 각 주무 부처 및 임무를 지정하였다.

영국의 경우, 유럽 최초 기후변화 관련 법령으로 평가받는 「기후변화법(Climate Change Act)」을 2008년 제정한 바 있으며, 이는 기후변화에 대한 영국 정부 주요 조치의 근거가 되는 핵심 법령이다. 여기에 추가적으로 2030년, 2050년의 법정 온실가스 배출량 목표를 규정함으로써, 온실가스 배출량 감축에 관한 법규를 강화하였다. 기후변화로 인한 심각한 악영향을 예방하기 위해, 2021년 10월에는 해당 법규를 개정하여 단순히 온실가스 배출량 감축이 아닌 2050년까지 탄소중립을 실현하기 위한 목표로 내용을 개정하였다.

40) Net Zero Tracker(검색일: 2022.6.30.)

중국은 2018년 10월, 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하기 위해 「대기오염 예방·퇴치법(Law of the Prevention and Control of Atmospheric Pollution)」을 개정하고, 2020년 3월에는 선박의 오염물 배출을 규제하기 위한 ‘선박 오염 대응에 대한 합의(Agreement for Ship Pollution Response)’를 이루어냈다. 일본은 2020년 6월, 「지구온난화 대책의 추진에 관한 법률(Act on Promotion of Global Warming Countermeasures)」에 파리협정의 2050년 탄소중립 선언에 따른 기본이념 및 관련 조항을 추가하고, 지구온난화 방지대책으로 탄소중립 경영 가속화를 위한 ‘기업 배출량 정보의 디지털화 및 오픈 데이터화’ 등의 전략을 포함하였다.

한편, 미국은 1955년 7월 세계 최초로 「청정대기법(Clean Air Act)」을 제정하고, 2022년 8월 이를 개정하였다. 이 법은 본디 고정·이동배출원이 유발하는 오염물질 배출을 규제하는 내용으로, 환경보호청(EPA)이 미국대기질 기준(NAAQS), 미국의 연간 재생연료 기준 등을 설정하도록 규정하고 있다. 2021년 11월에는 2050년 탄소중립의 원활한 추진을 위해 「미국 인프라 투자법(American Infrastructure Investment Act)」을 제정하고, 해상운송의 효율화 및 친환경 발전을 위해 2022년 7월 「해운 개혁법 2022(Clean Shipping Act of 2022)」를 마련하였다.

우리 정부는 2050년까지 탄소중립을 목표로, 2021년 5월 「2050 탄소중립 위원회의 설치 및 운영에 관한 규정」을 마련하고, 2022년 7월에 이르러 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정하였다.

〈표 2-4〉 국내외 탄소중립 관련 법령

국가	탄소 관련			선박 관련	
	시행 연도	법령/문서		시행 연도	법령
미국	2021.11	American Infrastructure Investment Act	△	2022.07	Clean Shipping Act of 2022
	2022.08	Clean Air Act	△		
네덜란드	2019.07	Climate law	○	2015.07	Prevention of Pollution from Ships Act
독일	2021.08	Federal Climate Change Act	○	-	-
영국	2021.10	Climate Change Act	○	-	-
싱가포르	2021.10	Energy Conservation Act	△	-	-
중국	2018.10	Law of the Prevention and Control of Atmospheric Pollution	△	2020.03	Agreement for Ship Pollution Response
일본	2021.06	Act on Promotion of Global Warming Countermeasures	○	-	-
한국	2021.05	2050 탄소중립 위원회의 설치 및 운영에 관한 규정	○	2020.01	환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률
	2022.07	기후위기 대응을 위한 탄소중립 · 녹색성장 기본법	○	2020.09	항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법

주: ○ - 법령, △ - 문서

자료: 저자 작성

제3절 항만의 탄소중립

1. ‘항만 탄소중립’의 개념 도출

1) 항만의 탄소중립 정책 비교

(1) 탄소중립 추진방향

국내외 주요 항만 역시, 자발적으로 탄소중립을 구현하기 위한 비전과 이를 실현하기 위한 이행계획 및 전략 등을 준비하고 있다. 미국 LA(Los Angeles)항과 LB(Long Beach)항은 산페드로만(San Pedro Bay) 역내 항만 및 인근지역의 대기환경 개선을 위해 2005년 수립한 ‘청정대기 행동 계획(CAAP)’에 이어, 보다 강화된 업데이트 버전을 2017년에 발표하였다. 개정된 계획은 강화된 배출규제 기준, 친환경 장비에 대한 정부의 지원강화 등 제도적 환경의 변화에 대응하기 위해 화물 처리 인프라에 대한 투자 확대, 기술 혁신 등에 포커스를 맞추고 있으며, 핵심전략으로 배기가스를 거의 또는 전혀 배출하지 않는 트럭 및 하역장비 도입, 그린 선박 프로그램(Clean Ship Program), 그린 터미널 프로그램(Green Terminal Program) 등을 제시하였다.⁴¹⁾ 특히, 항만의 탄소중립을 ‘무배출 항만(Zero-emissions port)’의 개념으로 정의하고, 이에 기존 대기오염물질에 이어 CO₂를 관리 대상 물질에 추가적으로 포함하였다.

네덜란드 로테르담항은 유럽 최대 항만으로, 탄소중립을 위한 중장기 마스터플랜 ‘Port Vision 2030’을 통해 2050년까지 무탄소 항만을 구축하겠다는 목표를 제시했다. 역시 항만의 탄소중립의 개념을 ‘무배출 항만(Zero-emissions port)’으로 정의하고,⁴²⁾ 이를 실현하기 위한 전략으로

41) Port of Los Angeles, Environment(검색일: 2022.8.23.)

42) Port of Rotterdam, Energy transition(검색일: 2022.8.23.)

친환경 에너지 전환 및 디지털화에 집중하고 있다. 독일 함부르크항은 ‘Action Plan 2030’ 프로그램을 통해 ‘2050년 항만의 탄소중립’ 목표를 제시하고, 항만 탄소중립의 개념을 ‘무탄소 항만(Zero carbon emissions port)’으로 정의하였다.⁴³⁾ 이를 구현하기 위한 방안으로, 선박 및 트럭, 크레인 등 모든 항만 장비에 대한 친환경 연료 방식 전환, 이로 인한 온실가스 배출의 저감을 도모하고 있다.

아시아의 경우, 싱가포르 투아스항 역시 2050년까지 무배출 항만(Net-Zero emissions)을 구현하기 위해⁴⁴⁾ 2019년 ‘Next Generation Tuas Port Project’를 출범하였으며, 이를 통해 ① 디지털 전환, ② 친환경 에너지 개발, ③ 인프라 구축의 총 3개 주요 분야에 집중하고 있다. 중국 칭다오항과 상하이항은 국가 탄소중립 목표에 따라 2060년까지 항만의 탄소중립을 목표로 설정하고, 항만 탄소중립의 개념을 ‘탄소중립 항만(Carbon-neutral port)’으로 정의하였다.⁴⁵⁾ 또한, 2022년의 현시점 기준으로 이를 실현하기 위한 세부 추진전략을 수립하고 있다. 일본 요코하마항은 중장기 항만 정책 ‘PORT 2030’을 통해 2050년까지 탄소중립 항만을 달성하기 위한 목표를 수립하고, 항만의 탄소중립을 ‘탄소중립 항만(Carbon-neutral port)’의 개념으로 정의하였다.⁴⁶⁾ 이를 위해, 주로 항만 건설 및 물류 활동의 녹색 전환, 정보통신기술을 활용한 항만 친환경화 등을 강조하고 있다.

한편, 우리나라는 2040년까지 14개 수소 기반 탄소중립 항만을 목표로 우선 울산항, 여수·광양항, 부산항 및 평택·당진항과 군산항 등에 기존 인프라를 활용한 시범사업을 추진하고 있다. 개별 항만들은 최근 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 설정하고, 각자 실천 가능한 전략을

43) PORTS&TERMINALS(2021), p. 2.

44) A Singapore Government Agency Website(검색일: 2022.9.18.)

45) China Climate Change Info-Net(검색일: 2022.9.23.)

46) Port of Yokohama(검색일: 2022.8.19.)

수립하고 있다. 주요 추진전략으로는 항만 수소 복합 스테이션 구축, 항만 모빌리티 및 선박의 수소연료 전환, 항만 친환경 청정 블루수소 생산기지 구축 등이 있다.⁴⁷⁾

〈표 2-5〉 주요 항만 탄소중립 비전 비교

국가	항만	탄소중립 비전	관련 계획
미국	LA항	• Achieve zero emission shipping by 2030	• Clean Air Action Plan
	LB항	• Achieve zero emission terminal and truck operations by 2035	
네덜란드	로테르담항	• Become zero emission port in 2050	• Port Vision 2030
독일	함부르크항	• Achieve zero carbon emissions port by 2050	• Action Plan 2030
싱가포르	투아스항	• Achieve Net-Zero emissions by 2050	• Next Generation Tuas Port Project
중국	칭다오항	• Achieve carbon neutrality by 2060	-
	상하이항		
일본	요코하마항	• Realize carbon neutrality port by 2050	• Port 2030 program
한국	부산항	• 2050년까지 탄소중립 달성	• 2050 탄소중립 종합계획
	여수·광양항	• 2050년까지 탄소중립 항만으로 전환	• 2050 탄소중립 항만 전환 추진전략
	인천항	• 2050년까지 넷 제로 달성	• 2050 탄소중립 세부 로드맵
	울산항	• 2050년까지 탄소배출량 '0' 달성	• 탄소중립·친환경 울산항 구현 프로그램
	평택·당진항	• 2040년까지 탄소중립 항만 조성	• 탄소중립 수소복합지구 조성 계획

자료: 저자 작성

47) 서울경제(2021.9.14.)(검색일: 2022.6.9.)

(2) 탄소중립 목표

국가 차원에서 탄소중립의 목표가 설정됨에 따라, 국내외 주요 항만 역시 2021년 전후로 개별 항만의 탄소중립 목표를 발표하고 있다. 우선, 미국 LA, LB항은 향후 2030년까지 항만의 온실가스 배출을 1990년 대비 40%, 이어서 2050년까지 약 80% 저감하는 목표를 설정하고, CO₂, N₂O, CH₄ 등 항만 활동으로 인한 온실가스의 배출을 감축하기 위한 방안을 지속적으로 추진하고 있다.⁴⁸⁾ 네덜란드 로테르담항은 2030년까지 온실가스 배출량을 55% 감축하고, 2050년을 탄소중립 목표 시한으로 설정하였다.⁴⁹⁾ 독일 함부르크항은 2025년까지 CO₂ 배출량을 2012년 대비 50% 감축, 이어서 2050년까지 무탄소 항만을 구현하겠다는 목표를 수립하였다.⁵⁰⁾ 그리고 싱가포르 투아스항, 일본 요코하마항은 2050년까지, 중국 칭다오항과 상하이항은 2060년으로 항만의 탄소중립 구현 목표시한을 제시했다.

국내 5대 항만 중 부산항은 2030년까지 탄소 배출량을 1,417만 톤으로, 2018년 대비 47% 정도를 줄이고 2050년까지 ‘순 배출량 0’을 달성하겠다고 밝혔다.⁵¹⁾ 인천항은 2030년까지 CO₂ 배출량을 최소 45% 감축하고, 2050년을 탄소중립 달성 목표시한으로 설정하였다.⁵²⁾ 평택·당진항은 2040년까지 탄소중립 항만으로 조성할 예정이며, 여수·광양항과 울산항은 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 수립하였다.⁵³⁾⁵⁴⁾

48) The port of Los Angeles(검색일: 2022.9.30.)

49) OFFSHORE ENERGY(검색일: 2022.9.30.)

50) International Transport Forum, Olaf Merk(2021), p. 11.

51) 다이나믹부산(2022.5.12.)(검색일: 2022.9.30.)

52) 인천투데이(2021.8.12.)(검색일: 2022.9.30.)

53) 물류신문(2021.12.01.)(검색일: 2022.9.30.)

54) The Korea maritime news(2022.2.23.)(검색일: 2022.9.30.)

〈표 2-6〉 주요 항만 탄소중립 목표 비교

국가	항만	발표 연도	기준 연도	중간 목표시기	최종 목표시기	감축 목표
미국	LA항	2021년	1990년	2030년	2050년	• 2030년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 40% 감축
	LB항					• 2050년까지 80% 감축
네덜란드	로테르담 항	2021년	1990년	2030년	2050년	• 2030년까지 온실가스 배출량 1990년 대비 55% 감축 • 2050년까지 탄소중립 달성
독일	함부르크 항	2021년	2012년	2025년	2050년	• 2025년까지 CO ₂ 배출량 2012년 대비 50% 감축 • 2050년까지 무탄소 항만 달성
싱가포르	투아스항	2022년	-	-	2050년	• 2050년까지 무탄소 항만 달성
중국	칭다오항 상하이항	2022년	-	-	2060년	• 2060년까지 무탄소 항만 달성
일본	요코하마 항	2020년	-	-	2050년	• 2050년까지 무탄소 항만 달성
한국	부산항	2022년	2018년	2030년	2050년	• 2030년까지 CO ₂ 배출량 2018년 대비 47% 감축 • 2050년까지 탄소중립 항만 전환
	여수·광양항	2021년	-	-	2050년	• 2050년까지 탄소중립 항만 구축
	인천항	2021년	2010년	2030년	2050년	• 2030년까지 CO ₂ 배출량 2010년 대비 최소 45% 감축 • 2050년까지 탄소중립 달성
	울산항	2021년	2018년	-	2050년	• 2050년까지 항만 탄소배출량 '0' 달성
	평택·당진항	2021년	-	-	2040년	• 2040년까지 탄소중립 달성

자료: 저자 작성

2) 항만의 탄소중립

앞서 살펴본 바와 같이, ‘항만의 탄소중립’은 항만의 각종 활동으로 인한 온실가스의 배출을 최대한 저감하고, 적극적인 배출 저감·방지 노력에도 불구하고 기배출된 온실가스를 탄소 포집·저장 기술 등을 연계·활용하여 제거함으로써 ‘항만의 순배출’이 제로화되는 상태로 정의할 수 있다.

[항만의 탄소중립]

항만의 각종 활동으로 인한 온실가스의 배출을 최대한 저감하고,
적극적인 배출 저감·방지 노력에도 불구하고 기배출된 온실가스를 탄소 포집·저장 기술
등을 연계·활용하여 제거함으로써,

→ ‘항만의 순배출’이 제로화되는 상태

다만, 개별 항만의 탄소중립 개념을 구체화하기 위해서는 추가적으로 ① ‘항만의 온실가스 배출’을 식별하기 위한 ‘항만’의 범위, ② 대상이 되는 ‘온실가스’에 대한 명확한 정의가 필요하다.

우선, 본 연구는 탄소중립 구현 대상인 ‘항만’, 나아가 이로 인한 ‘항만 활동’을 식별함에 있어, ‘Greenhouse Gas Protocol’ 및 이를 준용한 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」의 ‘조직경계’ 개념을 차용하는 방안을 제안한다. 이에 따라서, 항만의 활동으로 인한 직접 배출(Scope 1)은 물론, 간접 배출(Scope 2)은 필수적으로 항만 탄소중립의 대상, 즉 ‘항만의 각종 활동으로 인한 온실가스의 배출’로 식별되어야 한다.⁵⁵⁾ 따라서, ‘온실가스의 배출 저감’은 배출에 대한 직접 저감과 함께, 전력 및 배출 제로 개념이 아닌 에너지의 사용 등으로 항만에서 사용 전에 이미 배출되는 온실가스, 즉 ‘간접 배출’에 대한 저감 역시 포함해야 한다.

55) 본 보고서의 pp. 92-93, ‘2) 물리적 범위 및 업무경계의 확정’의 내용 참조

대상이 되는 ‘온실가스’에 대한 정의 역시 이 과정에서 필수적으로 요구된다. 앞서 살펴본 ‘Climate neutrality’ 또는 ‘Net zero’, 그리고 ‘Carbon neutrality’의 개념 구분에서와 같이, 대상 물질을 ① 「교토 의정서」상 6대 온실가스, 또는 ② 이산화탄소(CO₂)로 규정함에 따라서 탄소중립을 위한 요구활동의 양상이 매우 달라질 수 있다.

2. 항만 탄소중립과 대기환경 관리의 연계

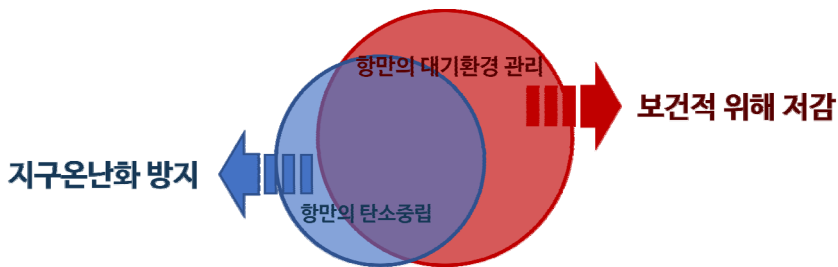
항만의 탄소중립에 대한 요구는 본질적으로 지구의 온난화 방지에 그 목적이 있다. 산업화 이후 인류의 산업활동으로 인한 온실가스의 배출이 빠른 속도로 증가하면서, 이론적인 경고 정도로 인식되었던 이른바 ‘기후 위기’, 이로 인한 극한 기상 및 극한 기후, 자연재해가 실제 체감할 수 있는 ‘위험’으로 다가오고 있다. 2016년 파리협정 채택 이후 이에 대한 과학적 근거 마련을 위한 IPCC의 연구결과 및 발표 등으로, 인류는 2050년까지 이른바 ‘탄소중립’을 달성해야 하는 공동의 당면과제를 안게 된 것이다.

항만 탄소중립의 구현은, 그간 전통적인 고탄소 산업구조 기반을 저탄소, 나아가 빠른 시간 안에 배출 제로 개념의 산업 패러다임으로 전환함으로써 궁극적으로 항만 활동의 ‘Net zero’를 달성하는 것으로 요약할 수 있다. 이는 항만의 직간접 배출의 방지·저감 또는 흡수 및 상쇄, 신재생 에너지 기반의 에너지 패러다임의 전환, 그리고 이를 위한 배출 모니터링 및 이행·관리전략 수립 등을 포함하는 체계 구축 등을 통해 달성할 수 있다.

이는 최근까지 국제사회의 최우선적인 화두였던 대기오염물질 배출관리와 많은 부분에서 점점이 존재한다. 하지만, (초)미세먼지 문제에 대응하기 위한 대기오염물질 관리는 기본적으로 대기 중 오염물질의 보건적 위해성

을 경감하는 데에 목적이 있으며, 온실가스 저감을 화두로 하는 탄소중립과는 지향점이 다르다고 할 수 있다. 하지만, 항만의 탄소중립과 대기환경 관리활동은 주로 항만 활동으로 인한 대기 중 배출을 경감·방지하거나, 이를 위해 특정 오염물질의 배출을 모니터링 또는 관리하는 등 많은 부분에서 동일한 방법론을 적용하게 된다.

〈그림 2-6〉 항만 탄소중립과 대기환경 관리의 연계



자료: 저자 작성

〈표 2-7〉 항만 탄소중립과 대기환경 관리 비교

구 분	항만 탄소중립	항만 대기환경 관리
목 적	지구 온난화 방지	국민/지역사회 보건적 위해 저감
관리 대상 물질	온실가스	대기오염물질
모니터링	배출원 조사, 배출 인벤토리 작성	- 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 - 대기 중 오염농도 측정: 이동·확산 모사 - 건강·환경 영향평가 등
	대기 중 상호 2차 반응에 의한 연계 전환, 영향 등	
배출저감(직접)	- 배출저감 및 방지 조치의 적용 - 저탄소/배출제로 에너지 전환	- 배출저감 및 방지 조치의 적용 - 저탄소/배출제로 에너지 전환
배출저감(간접)	- 신재생에너지 기반 마이크로 그리드 - 에너지 효율 개선: 자동화, 최적화 등 - 탄소 흡수, 제거 등	- 신재생에너지 기반 마이크로 그리드 - 에너지 효율 개선: 자동화, 최적화 등 - 이동·확산 차단, 흡수, 제거 등

자료: 저자 작성

따라서, 상기 두 분야를 이원적으로 접근하기보다는 모니터링 및 인벤토리 작성, 배출저감 및 방지 조치의 적용, 에너지 효율 개선을 위한 최적화 등 교차 접점이 발생하는 부분에서는 업무를 일원화하여 성과를 공유하는 등 중복업무 및 투자 등의 비효율을 지양하려는 방안을 강구해야 할 것으로 보인다.

03

국내외 사례별 구성요소의 식별

제3장에서는 국제기구 및 주요국가의 가이드라인, 국내외 주요 항만의 이행 현황을 면밀하게 조사·검토하여, 제2장에서 구체화한 ‘항만 탄소중립’ 개념 적용의 대상 및 범위를 제시하고, 이를 구현하기 위해 요구되는 이행·관리활동의 개별 요소를 식별하였다. 또한, 이들 세부 활동요소의 속성에 따른 유형(① 배출 모니터링, ② 이행·관리전략 수립, ③ 이행점검 및 결과 반영, ④ 배출 저감·관리(직접), ⑤ 배출 저감·관리(간접: 자동화, 최적화, 에너지 그리드 구축·활용 등)) 구분을 통해 표준(안)의 체계를 구성하였다.

제1절 관련 지침 사례

1. 유럽항만기구(ESPO)

1) 주요 내용

유럽항만기구(ESPO)는 항만의 환경적 지속가능성과 관련하여 매년 유럽 항만의 관리자들을 대상으로 환경관리 분야의 10대 우선순위(Top 10 Environmental priorities)를 조사하여 발표하고 있다. 2021년 기준, 항만의 환경관리 이슈 중 최우선 순위는 ‘대기질 개선·관리(Air quality)’, ‘기후변화 대응(Climate change)’, ‘에너지 효율 개선(Energy efficiency)’ 순으로 나타났으며, 특히 대기질 관련 이슈는 2013년 이후 줄곧 가장 최우선적인 이슈로 인식되고 있다.⁵⁶⁾ ESPO는 개별 항만이 이와 같은 환경관리 이슈에 효과적으로 대응할 수 있도록, ‘그린가이드 2021(ESPO Green Guide 2021)’⁵⁷⁾을 통해 새로운 환경 목표와 이를 달성하기 위한 주요 방법론 등을 제공하고 있다. 이와 더불어, 항만의 환경문제를 해결하고 국제적 환경 기준을 달성하기 위한 지식 및 경험 공유 차원의 ‘환경 보고서(ESPO Environmental Report)’⁵⁸⁾ 및 ‘유럽 항만의 거버넌스 실태조사(Trends in EU port’s governance)’⁵⁹⁾ ‘신에너지 동향(The new energy landscape)’⁶⁰⁾ 등의 주요 보고서에서 탄소중립 이행을 위해 요구되는 다양한 활동을 제시하고 있다.

56) ESPO(2020.11.20.)

57) ESPO(2021.9.20.)

58) ESPO(2022a)

59) ESPO(2022c)

60) ESPO(2022b)

(1) 그린 가이드(ESPO Green Guide)

2021년에 발표된 ‘그린 가이드’는 최근 강화되고 있는 기후 및 환경 관련 이행·관리 지표 및 목표 수준에 대응하기 위해, 유럽 항만의 친환경 향만에 대한 비전을 제시하고, 탄소중립 구현을 위한 구체적인 지침을 제공하고 있다.

우선, 항만의 오염물질 및 이로 인한 외부효과의 감소를 위해, 10대 환경 문제 우선순위 조사결과를 바탕으로 항만에서 선택적으로 이행할 수 있는 유효 활동들을 대략적으로 제시하고 있다. 이에 따르면, 대기질 개선을 위한 대기오염물질의 대기 중 배출 저감·방지 방안으로, 육상전원 공급장치를 설치·운용하거나 저유황유를 사용하도록 하고, 이와 동등한 효과를 기대할 수 있는 대체 연료의 공급, 저탄소 개념의 LNG 병커링의 구축, 친환경 선박에 대한 인센티브 제공 등을 제시하고 있다. 한편 ‘기후변화’ 이슈에 대응하기 위한 유효 방안으로, 온실가스 배출량 모니터링 및 탄소 발자국 측정 등을 추가적으로 제시하였다.

또한, 이를 이행하기 위해 항만당국이 활용할 수 있는 도구로 자체 규칙·정책의 마련 및 집행, 친환경 인프라 및 장비 등에 대한 투자, 이를 위한 사업전략의 수립, 친환경 활동 및 참여 등에 대한 인센티브 제공 또는 이와 유사한 동기 부여 방안 등을 제시했다.

(2) 환경 보고서(ESPO Environmental Report)

ESPO의 ‘환경 보고서’는 매년 발간되고 있으며, EcoPorts⁶¹⁾의 ‘자가진단(SDM)’을 완료한 유럽 99개 항만의 결과 데이터 등을 활용하여 주로 유럽 항만의 환경 관리 동향에 대한 분석결과를 제시하고 있다. SDM의 평가

61) 1997년에 설립된 유럽 항만부문의 주요 환경 관리·개선 프로그램으로, 현재 26개국 119개 회원사가 있으며, 2011년부터 ESPO에 통합됨

항목들은 유럽 항만의 환경 관리 성과를 평가하기 위한 지표별 항목으로, 이는 개별 항만이 환경문제의 해결을 위해 수행해야 하는 요구활동으로 이해할 수 있다. 보고서에 따르면, 이는 크게 ① 항만의 환경경영 지표 (Environmental management indicators), ② 환경 관련 모니터링 지표 (Environmental monitoring indicators), ③ 녹색해운 서비스(Green services to shipping)로 분류된다.

(3) 유럽 항만의 거버넌스 실태조사(Trends in EU port's governance 2022)

‘유럽 항만의 거버넌스 실태조사’ 보고서는 유럽 항만의 소유권 및 관리 주체, 항만 관리기관의 운영 목표, 주요 수입원, 항만의 전략적 역할, 관리 대상 항만 수, 항만 서비스별 소유 주체, 항만의 마케팅 주체, 항만의 주요 산업부문, 항만의 에너지 소비 및 효율 등에 대한 주기적인 조사, 모니터링에 의한 분석결과를 제시하고 있다. 특히, 해당 보고서는 최근 항만 관리자에 대한 설문조사 결과를 바탕으로 ‘에너지 효율 개선(Energy efficiency)’ 업무의 중요성을 지적하고, 이와 관련한 조사 항목으로 ① 에너지 목표 설정(Settting energy targets), ② 에너지 효율 개선 조치 시행(Measures to improve energy efficiency), ③ 에너지 소비를 줄이기 위한 조치 시행(Measures to reduce energy consumption), ④ 에너지 사용량 모니터링(Monitoring Energy Consumption)을 시행하는 기관의 수 등을 제시하였다.

(4) 신에너지 동향(The new energy landscape)

2022년에 발간된 ‘신에너지 동향’ 보고서는 항만의 에너지 전환을 주제로, 항만 내 개별 활동으로 인한 탄소 배출의 저감을 위한 방안으로, 에너지 절감(Energy Saving), 장비의 탈탄소화(Decarbonisation of port equipment),

육상전력 공급(Onshore power supply), 청정에너지 벙커링(Clean fuel bunkering), 재생 에너지 기반의 전력 자급(On-site renewable power) 등을 제시하고 있다.

우선, 에너지 절감을 위해 적용 가능한 조치로 ① 효율적인 조명 운용을 위한 스마트 조명장치(Smart lighting measures)의 활용,⁶²⁾ ② 컨테이너 하역 과정에서 발생하는 열과 같이 손실되는 하역장비의 에너지를 포집·활용하여 피크 셰이빙(Peak-shaving) 및 피크 시 에너지 수요를 저감하기 위한 에너지 저장시스템(Energy storage systems implemented for port machinery or equipment), ③ 디지털트윈 등의 최적화 스마트 기술 기반의 스마트 에너지 관리 소프트웨어(Smart energy management software)의 개발·도입, ④ 에너지 전송 손실을 최소화하기 위한 에너지 인프라의 최적 입지 선정(Optimal siting of energy infrastructure), ⑤ 에코빌딩의 표준, 단열 강화, 열회수 기술 등을 적용하는 항만 내 시설·건물의 에너지 효율 개선, ⑥ 항만장비의 속도 제어(Variable speed switch and control for motors/equipment) 등의 방법으로 불필요한 에너지의 손실을 최소화하는 방안 등을 제시하고 있다.

이와 더불어, 항만 내에서 기존에 사용되던 디젤 엔진을 전기 및 하이브리드 방식으로 교체하여 항만장비를 탈탄소화하도록 제안하고 있다. 이는 디젤 동력을 보다 효율적인 중앙 집중식 발전과 전력망 기반의 대안적 에너지 방식으로 교체하여, 장비의 운영 효율성을 개선하기 위한 방안이다. 또한, 정박 중 선박의 탄소 배출을 원천적으로 저감하기 위한 육상전력 공급 도입·활용, 수소, 메탄올, 암모니아는 물론, 저탄소 개념의 LNG 등을 포함하는 청정에너지로의 전환·사용, 그리고 이를 위한 시설 구축 등을 제안했다. 항만구역 내의 재생에너지 기반 전력 자급 방안은 항만 내에서 태

62) 최대 15%까지 에너지 절감 가능

양열, 풍력, 조력 등의 재생에너지를 생산하여 항만시설 및 장비에 전력을 공급하고, 이를 에너지 저장 시스템과 연계하는 경우 에너지 비용 및 환경 세에 대한 비용 절감 또는 잉여 에너지의 제3자 판매로 또 다른 수익을 창출하여 상당한 비용 절감을 기대할 수 있다.

2) 구성요소의 식별

〈표 3-1〉 활동 구성요소의 식별: 유럽항만기구(ESPO)

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	탄소 배출량 및 탄소발자국 조사	• 기후변화 대응을 위한 항만당국의 역할: 탄소 배출량 조사 제안
	에너지 사용량 및 효율성	• 에너지 사용량 및 효율 개선 도모
이행·관리전략 수립	규칙 제정	• 항만당국의 규칙 및 정책 제정 • 모니터링 및 데이터 수집 • 항만당국의 규범 마련
	친환경 투자	• 조달 및 양허정책(계약 및 서비스 입찰의 친환경 조항) • 항만 인프라(에너지 효율 개선) • 선박의 탄소 배출저감, 하역장비의 에너지 전환 • 친환경 서비스(대체연료 벙커링인프라 설치, 이송장비 대체연료 사용 등) • 환경영향 저감(생분해성 시설물 등)
	친환경 전략	• 인프라 개발 • 기후 주류화(항만당국 활동 평가 시 기후 및 환경영향을 기준으로 평가하고, 이를 전략적 결정의 중요한 요소로 고려) • 친환경 투자 유치를 위한 적극적 사업전략(친환경 기업 등 친환경 운영 관련 이해관계그룹 네트워크 구성) • '친환경' 집계(항만당국 활동의 환경 및 기후 영향에 대한 모니터링 및 정량화 체계 도입)
	인센티브 및 동기 부여	• 직원 혜택(친환경 작업 및 환경 개선 업무의 경쟁 유도, 보상), 승진 및 포상 • 직원 교육(탄소발자국 최소화 방안 워크숍 등)

유 형	활동 구성요소	내 용
배출저감 관리 (직접)	육상 전력 공급	• 정박 중 선박의 엔진에 육상전력 공급
	청정에너지 전환	• 항만 장비의 엔진 교체(디젤 → 전기, 하이브리드) • 항만 장비의 전원을 수소, 메탄올, 암모니아, LNG 등의 청정에너지로 전환 • 청정에너지 사용 선박에 대응 가능한 시설 구축
	대체에너지 생산 및 공급	• 항만 내에서 태양열, 풍력, 조력 등을 생산하여, 항만 시설 및 장비에 전력 공급
	친환경 선박에 대한 인센티브	• 친환경 선박에 대한 항만 사용료 인하 등의 인센티브 제공
배출저감 관리 (간접: 자동화, 최적화 등)	에너지 사용 절감 (운영)	• 스마트 조명장치 • 에너지 인프라의 최적 입지 선정 • 항만 건물·시설의 에너지 효율 개선
	에너지 사용 절감 (서비스)	• 항만장비 운용 최적화 시스템 • 항만 장비에 에너지 저장시스템 설치·활용 • 에너지 관리 소프트웨어 활용
이행점검 및 결과반영	SDM	• 항만 환경 관리 성과 평가
	모니터링 보고서 발간	• 항만 환경 모니터링 결과 및 적용가능 방안 제공 : 환경보고서, 거버넌스 실태 조사 등

자료: ESPO(2021.9.20.), ESPO(2022a), ESPO(2022b), ESPO(2022c)를 활용하여 저자 재작성

2. 한국형 녹색분류체계 가이드라인

1) 주요 내용

‘녹색분류체계(Green Taxonomy)’는 본디 유럽연합이 환경적으로 지속가능한 경제활동(녹색경제활동)을 분류하고 목록화한 체계이다. 유럽연합은 온실가스 배출 제로 개념의 경제 전환을 위해, 2030년까지 1990년 수준 대비 최소한 55%의 순 온실가스 배출 감소를 목표로 기후변화, 에너지, 운송 및 세금 등 분야별 정책방향 및 실행계획, 일정 등을 제시한 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 채택한 바 있다.⁶³⁾ 이를 이행하기 위해서는 선행적으로 어떤 정책과 사업이 환경적으로 지속가능한 활동인지에 대해 판단·구명하기 위한 근거가 요구되었으며,⁶⁴⁾ 이러한 배경에서 ‘EU 녹색분류체계(EU taxonomy for sustainable activities)’를 마련하여, 이를 근거로 정부, 기업, 투자자들은 그린딜의 목적에 부합하도록 지속가능한 정책과 투자(녹색 투자)의 방향을 결정할 수 있다.

‘한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)’는 국내의 ‘녹색경제활동’⁶⁵⁾에 대한 명확한 원칙과 기준을 제시함으로써, 녹색 투자가 환경친화적이고 기후변화 대응 정책에 부응하는 프로젝트나 기술에 투입될 수 있도록 지원하기 위해 개발되었다. 이는 기후변화 적응 및 탄소중립 구현을 위한 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」의 법제화와 함께, 온실가스 감축, 저탄소 회복 탄력 경제로의 전환을 위한 노력의 일환으로 이해할 수 있다.⁶⁶⁾ ‘한국형 녹색분류체계 가이드라인’은 탄소중립 일반에 대한 요구활동 및 이를 판별·적용하기 위한 가이드라인으로 활용 가능하며, 항만과 관

63) European Commission(2022a)(검색일: 2022.9.20)

64) European Commission(2022b)(검색일: 2022.9.20)

65) 탄소중립 사회 및 환경개선에 기여하는 경제활동인 ‘녹색부문’과 탄소중립으로 전환하기 위한 중간과정으로서 과도기적으로 필요한 경제활동인 ‘전환부문’으로 구성

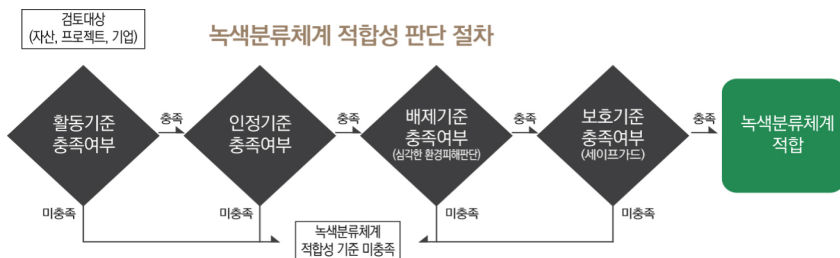
66) 환경부(2021.12.30.), p. 6.

련이 있는 사항으로는 친환경 선박의 건조와 운송에 대한 기준 등을 제시하는 데에 그치고 있다. 하지만, 탄소중립 구현을 위해 요구되는 활동의 식별 및 구분, 적절한 근거 및 기준에 따른 분류체계를 구성하고 이를 바탕으로 일종의 탄소중립 이행 로드맵을 제시하고 있어, 본 연구가 참고할 만한 부분이 적지 않다.

해당 가이드라인은 ① 온실가스 감축, ② 기후변화 적응, ③ 물의 지속가능한 보전, ④ 자원 순환, ⑤ 오염 방지 및 관리, ⑥ 생물다양성 보전 등, 6대 환경목표에 기여하는 69개 녹색경제활동을 ‘활동기준’, ‘인정기준’, ‘배제기준’, ‘보호기준’ 등 적합성을 판단하기 위한 기준에 따라서 선정하고, 다시 이들을 일정한 기준에 따라 구분하고 있다. 이 과정에서, 개별 녹색경제활동은 원칙적으로 과학적 근거에 따라 6대 환경목표 중 하나 이상의 환경목표에 기여하는 한편, 아울러 환경 목표의 달성 과정에서 다른 환경 지표에 심각한 피해를 주지 않아야 한다.⁶⁷⁾

한편, 녹색채권, 녹색펀드와 같은 녹색금융의 활용을 요하는 개별 경제활동이 녹색분류체계의 기준에 충족하는지 여부를 판단할 수 있는 ‘적합성 판단 절차’를 아래 그림과 같이 제시하고 있다.⁶⁸⁾

〈그림 3-1〉 녹색분류체계 적합성 판단 절차



자료: 환경부(2021.12.30.), p. 13.

67) 환경부(2021.12.30.), p. 9.

68) 환경부(2021.12.30.), p. 13.

〈그림 3-2〉 한국형 녹색분류체계의 판단기준(예시)

① 활동기준		
무공해(전기, 태양광, 수소) 차량·철도차량·건설기계·농업기계·선박·항공기 생산 및 이에 필요한 설비를 구축·운영하는 활동		☐
② 인정기준		
온실가스 감축	상기 활동기준에 해당하는 경우 별도의 인정기준 미적용	☐
③ 배제기준		
기후변화 적응	‘붙임2. 배제기준-기후변화 적응’의 관련 요건을 충족하고 있는가?	☐
물	‘붙임3. 배제기준-물’의 관련 요건을 충족하고 있는가?	☐
오염	‘붙임4. 배제기준-오염’의 관련 요건을 충족하고 있는가?	☐
	운송에 투입될 선박이 「선박안전법」 또는 「해양환경관리법」에 따른 검사를 받고 증서의 유효기간이 만료되지 않았으며 관련 기준을 준수하는가?	☐
자원순환	‘붙임5. 배제기준-자원순환’의 관련 요건을 충족하고 있는가?	☐
	무공해 차량 중 승용자동차, 승합자동차(승차정원 9명 이하), 화물자동차(경형 및 소형)의 경우 환경성보장제도에 따라 폐자동차 재활용비용을 준수하고 있는가?	☐
생물다양성	‘붙임6. 배제기준-생물다양성’의 관련 요건을 충족하고 있는가?	☐
④ 보호기준		
해당 경제활동이 기획, 건설, 운영과정에서 인권(아동노동 등), 노동(강제노동 등), 안전(중대 재해 등), 반부패(뇌물수수 등), 문화재 파괴 등 법규 위반 행위와 무관한가?		☐

자료: 환경부(2021.12.30.), p. 58.

검토의 대상이 되는 경제활동은 앞서 설명한 4개의 적합성 판단기준(활동기준, 인정기준, 배제기준, 보호기준)에 부합해야 한다. 각 기준의 판단 항목은 다음과 같다. ‘활동기준’은 96개 세부 경제활동에 주어진 각각의 활동기준에 부합하는지를 판단한다. ‘인정기준’은 경제활동이 6대 환경목표 가운데 하나 이상의 목표를 달성하기 위한 기술적 기준에 부합하는지를 판단한다.⁶⁹⁾ ‘배제기준’은 경제활동으로 인한 심각한 환경피해⁷⁰⁾를 판단하는

69) 환경부(2021.12.30.), p. 13.

기준의 각 요건에 부합하는지를 평가한다. ‘보호기준’은 개별 경제활동이 인권, 노동, 안전, 반부패, 문화재 파괴 등 관련 법규의 위반 여부를 평가한다.⁷¹⁾ 또한, 시작 단계의 평가에서 충족이 되었더라도 사후 모니터링 과정에서 관련 기업과 금융기관에서 해당 내용에 대한 정보 제공을 요청하기 때문에 지속적으로 기준을 충족해야 한다. <그림 3-2>는 한국형 녹색분류체계 판단기준의 예시로, 수송분야 무공해 차량·철도차량·건설기계·농업기계·선박·항공기 제조 분야에 대한 판단기준을 보여준다.

제시된 개별 녹색경제활동은 탄소중립 및 환경개선 지향 성격에 따라서 ‘녹색부문’과 ‘전환부문’으로 구분하고 있다. 녹색부문은 탄소중립 및 환경개선에 직접적으로 연결되는 녹색경제활동으로, 앞서 제시한 6대 환경목표에 따른 6개 부문으로 세분화하고 있다.⁷²⁾ 단, 화석연료를 100% 사용하는 경제활동과 이와 관련된 활동은 배제하고 있다. 한편, 전환부문은 탄소중립으로 이행하는 중간과정에서 필요한 활동으로, 특히 LNG 및 혼합가스 기반 에너지와 블루수소 제조, 친환경 선박의 건조와 유지 관리 시설 구축 등의 활동을 포함한다.⁷³⁾

당초 녹색부문과 전환부문의 일부 활동에 대해서 전과정평가(LCA)의 개념 및 이에 따른 기준을 적용하고자 했으나, 관련 데이터베이스의 부재, 업계 전반의 이해 및 경험 부족 등과 같은 현실적인 어려움으로 금번에는 이를 적용하지 못했다. 하지만, 2024년까지는 「온실가스 배출권 거래제 운영을 위한 검증지침」에 따라 온실가스 배출량을 산정하고, 2025년부터 「환경성적표지 작성지침」에 따라 전과정평가 개념을 도입할 예정이다.⁷⁴⁾

70) 환경목표 달성 과정에서 다른 환경목표에 심각한 피해를 주지 않아야 함(DNSH: Do No Significant Harm). 환경부(2021.12.30.), p. 9.

71) 환경부(2021.12.30.), p. 13.

72) 환경부(2021.12.30.), p. 11.

73) 환경부(2021.12.30.), p. 11.

74) 환경부(2021.12.30.), p. 11.

2) 구성요소의 식별

〈표 3-2〉 한국형 녹색분류체계의 경제활동(구성요소) 식별 사례

부 문	분 야	경제 활동
녹색 부문		
온실가스 감축	산업	• 탄소중립 핵심기술 활용을 위한 제조 • 탄소중립 핵심기술 활용을 위한 소재·부품·장비 제조 • 배출원 단위가 상대적으로 낮은 철강 제조 • 배출원 단위가 상대적으로 낮은 시멘트 제조 • 배출원 단위가 상대적으로 낮은 유기화학물질 제조 • 온실가스 감축 설비 구축·운영
	발전·에너지	• 재생에너지 생산: 태양광, 태양력, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 수열에너지 • 재생에너지 생산: 바이오매스 • 재생에너지 생산: 바이오가스 • 수소·암모니아 기반 에너지 생산 • 혼합가스 기반 에너지 생산 • 폐열·냉열·감압(폐압) 기반 에너지 생산 • 바이오매스, 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오중유 제조 • 수소 제조 • 암모니아 제조 • 전기 에너지 저장·전환 • 열에너지 저장 • 수소·암모니아 에너지 저장 • 재생에너지 관련 송배전 인프라 구축·운영 • 바이오가스·수소·암모니아 이송 인프라 구축·개조·운영 • 폐열·냉열 공급 인프라 구축·개조·운영 • ICT 기반 에너지 관리 솔루션 개발 및 시스템 구축·운영
	수송	• 무공해 차량·철도차량·건설기계·농업기계·선박·항공기 제조 • 무공해 대중교통 운영 • 무공해 육상·철도 운송 • 무공해 선박 운송 • 무공해 운송 인프라 구축·운영 • 무공해 개인 이동 및 공유 운송 인프라 구축·운영

부 문	분 야	경제 활동
	도시 · 건물	- 제로에너지 특화 도시 개발·운영 - 제로에너지 건축물 또는 녹색 건축물 신규 건설 및 리모델링 - 건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영 - 저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영
	농업	- 저탄소 농업 - 저탄소 사료 및 대체가공식품 제조
	이산화탄소 포집	- 배출되는 이산화탄소 포집 - 이산화탄소 운송 네트워크 인프라 구축·운영 - 포집된 이산화탄소 처리 및 영구격리 - 바이오차(Biochar) 제조 및 토양 살포
	연구개발	탄소중립 핵심기술 연구·개발·실증
기후변화 적응	기후변화 적응	- 기후변화 적응 핵심기술 활용을 위한 소재·부품·장비 제조 - 기후변화 적응 관련 조사·연구 - 기후변화 적응 관련 교육·문화·예술 활동 - 공정한 노동 전환 지원
물	물	- 하·폐수 관리 - 저영향 개발(LID: Low Impact Development) - 물 공급 - 대체 수자원 활용 - 물 수요 관리 - 물 재이용 - 지하수 정화
순환경제	자원순환	- 폐기물 발생 억제 - 폐자원 수거·회수·선별·분리 - 폐자원 재활용(재사용·재제조·재생이용), 재활용 - 폐자원 열분해 - 폐기물 에너지 회수
	메탄가스 활용	- 혐기성 소화의 메탄가스 포집 및 처리·활용 - 매립가스 포집 및 처리·활용
오염	대기오염 방지 및 처리	- 대기오염 방지 및 처리 - 악취 방지 및 저감
	해양오염 방지 및 처리	해양오염 방지 및 처리

부 문	분 야	경제 활동
생물 다양성	생물다양성	• 육상 및 해양 생태계 보호·복원 • 산림 생태계 복원 • 도시 내 탄소흡수원 조성 • 생물종 보호·보전
전환 부문		
온실가스 감축	산업	• 중소기업 사업장 온실가스 감축 ※ '30년까지 한시적으로 인정
	발전·에너지	• 액화천연가스(LNG) 및 혼합가스 기반 에너지 생산 • 액화천연가스(LNG) 기반 수소(블루수소) 제조 ※ 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC), 2050 탄소중립 시나리오, 기술개발 수준 등을 감안하여 '30~'35년까지 인정
	수송	• 친환경 선박 건조 • 친환경 선박 운송 ※ '30년까지 한시적으로 인정

자료: 환경부(2021.12.30.), pp. 22-29.

제2절 주요 항만의 이행사례

1. 유럽

1) 주요 내용

(1) 네덜란드, 로테르담항

로테르담항은 이산화탄소 배출을 2030년까지 1990년 대비 55% 수준으로 감축하고, 2050년 탄소중립 구현을 목표로 하고 있다.⁷⁵⁾ 이와 관련하여, 2030년까지 유럽 최대의 석유화학 클러스터를 화석연료가 아닌 전기 에너지 기반의 산업구조로 전환하는 것을 주요내용으로 하는 ‘스마트 에너지와 산업 로드맵(Smart Energy & Industry Loadmap)’을 추진하고 있으며, 로드맵의 핵심은 다양한 에너지 대안을 적절하고 효율적으로 활용하여 지속가능한 에너지를 마련하고, 이를 기반으로 탄소중립을 실현하는 데에 있다.⁷⁶⁾

또한, 항만의 탄소중립 실현을 위한 지역과의 협력체계(Governance of the port industrial complex and climate goals)를 구축하여 ‘탄소 저감 시나리오별 이행전략’을 수립하고, 이를 바탕으로 바이오매스 활용, 이산화탄소 포집 및 활용, 그린 수소 개발, 잔열 활용 등으로 신재생 에너지의 전환을 확대하고 있다. 이와 더불어, 인근 산업 클러스터와 연계한 에너지 공급 네트워크 마련, 마이크로 그리드, 가상형 발전소 등으로 구성되는 지능형 통합 에너지 공급 시스템 구축 등을 통한 에너지 효율화를 추진하고 있다.⁷⁷⁾

75) Port of rotterdam energy transition(검색일: 2022.9.10.)

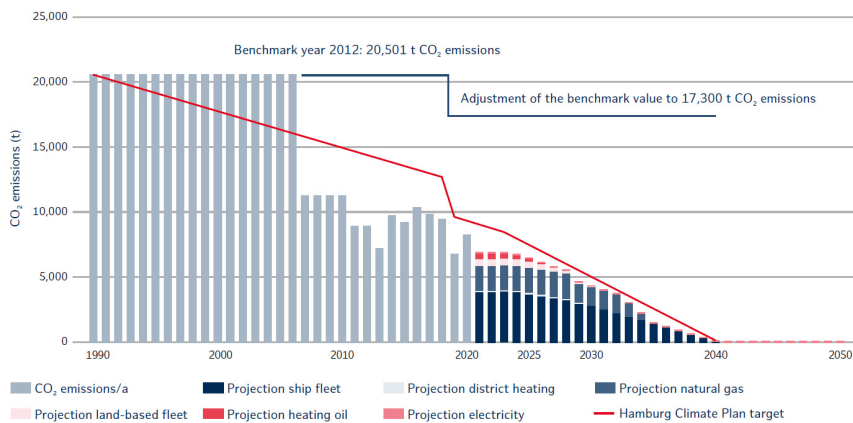
76) 김근섭 외(2021), p. 31.

77) Erasmus University(검색일: 2022.9.10.)

(2) 독일, 함부르크항

함부르크항은 2021년 「HPA sustainability report 2019/2020」 보고서에서 기존 탄소중립 계획의 내용을 강화한 ‘기후 계획(Climates strategy)’을 발표하고, 이에 따라서 2025년까지 2012년 대비 이산화탄소 배출량을 50%로 저감하고 2040년까지 탄소중립을 달성할 계획이다.⁷⁸⁾ 이는 에너지 소비 절감을 위한 에너지 고효율화 작업을 통해 항만의 전체 에너지 소비를 매년 0.5%씩 줄이는 방식으로 추진하게 된다. 또한, 단계적으로 2030년까지 화석에너지 사용량을 50%로 줄이고, 2040년까지 기존의 화석에너지 사용을 100% 친환경 에너지로 전환하기로 하였다.⁷⁹⁾

〈그림 3-3〉 함부르크항의 탄소중립 추진 계획 및 요소별 저감 목표



자료: HPA(2021), p. 58.

78) HPA(2021), p. 57.

79) HPA(2021), p. 58.

(3) 벨기에, 앤트워프

앤트워프항은 항만의 이산화탄소 배출을 2030년까지 2019년 대비 50% 감축하기 위한 방안으로, ‘Antwerp@C’ 프로젝트를 출범하였다. 해당 프로젝트의 핵심사안은 ‘이산화탄소 포집과 활용’으로, 탄소 포집 및 저장 기술을 개발하고 포집한 탄소를 항만의 다양한 분야에서 에너지원으로 활용하는 방식으로 항만의 탄소중립 실현을 도모하고 있다.⁸⁰⁾ 이와 더불어, ‘Power-to-methanol’ 프로젝트를 통하여 포집된 탄소와 수소를 활용하여 에너지용 메탄올을 생산할 계획이다.⁸¹⁾

(4) 기타

에스토니아 최대 규모 항만인 탈린항은 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 목표를 수립하였다. 탈린항은 탈린 공과대학(Tallinn University of Technology)의 에스토니아 해양 아카데미와 협력하여 2019년 데이터를 활용하여 항만의 총 탄소 배출량을 산정하였으며, 이에 따르면 배출원별 탄소 배출은 선박(53%), 전력 소비(23%), 이동차량(11%), 열 소비(10%) 순으로 나타났다.⁸²⁾ 탈린항은 항만 내 선박의 탄소 배출 저감을 위해 Eesti Energia와 에스토니아 내에서 친환경 방식으로 생산된 전력을 정박 선박에 공급하는 계약을 체결했다. 또한, 항만 출입 여객선을 하이브리드선으로 개조하여 화석연료 사용을 최소화하는 등, 연간 탄소배출량 저감을 목표로 주요 배출원의 에너지를 대체 연료방식으로 전환할 예정이다.

핀란드 헬싱키항은 2019년, 2035년까지 항만의 탄소중립 실현을 위한 ‘Carbon Neutrality 2035’ 계획을 발표하였다. 우선 2030년까지 선박의 배출을 25% 저감하기 위하여, 9개 선석을 대상으로 OPS를 시범적으로 도

80) brussels times(2020.5.28.)(검색일: 2022.7.13.)

81) Innovations of the world(검색일: 2022.6.29.)

82) Splash247(검색일: 2022.8.10.)

입하는 한편, 바이오연료로 전환하는 선박에 연료 비용의 일부를 지원하고 있다. 2035년까지 항만 내 교통체증으로 인한 탄소 배출을 60%까지 저감하고, 각종 항만장비의 탄소 배출을 60% 수준까지 저감할 예정이다.⁸³⁾

영국 포츠머스항은 항만의 탄소중립 실현을 위한 주요 사업으로, 스마트 에너지 시스템을 구축하는 ‘항만 에너지 시스템 최적화(PESO)’ 사업을 2020년 6월부터 시범운영 중이다. PESO 사업의 핵심은 항만에 스마트 그리드 기술 및 최적화 운영관리 소프트웨어를 도입하여 에너지 비용을 절감하는 동시에 이를 통해 탄소 배출을 저감하는 데에 있으며, 시범사업의 주요 내용은 100kW 급 리튬이온배터리 시험 운용, 에너지 발전과 저장, 스마트 그리드 인프라 및 관련 소프트웨어 개발 등이다.⁸⁴⁾ 또한, 관할 지방자치단체인 포츠머치시와 협업하여 2022년 2월부터 항만 내에 태양열 및 배터리시스템을 설치·운용하고 있으며, 해당 사업이 완료되면 전체 2,660개의 태양광 패널로 생산 가능한 전력의 수준이 항만 전체 전력 수요의 약 35% 수준에 육박할 것으로 예측하고 있다.⁸⁵⁾ 이 외에도, 무탄소 전력 생산, 대규모 배터리 저장 장치 활용 등의 방안으로 항만의 탄소 배출을 저감할 계획이다.

2) 구성요소의 식별

〈표 3-3〉 활동 구성요소의 식별: 유럽 주요 항만

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	-	-
이행·관리전략 수립	거버넌스 구축 및 시나리오 기반 전략 수립	• (로테르담항) 탄소중립 실현을 위한 지역과의 거버넌스 구축 및 탄소 저감 시나리오별 이행전략 수립

83) OFFSHORE ENERGY(검색일: 2022.8.5.)

84) CATAPULT(검색일: 2022.6.10.)

85) Portsmouth Port(검색일: 2022.9.10.)

유 형	활동 구성요소	내 용
배출저감 관리(직접)	신재생 에너지 전환 확대	• (헬싱키항) 바이오연료 전환 선박에 대한 인센티브 제공 • (포츠머스항) 태양광 패널 설치, 배터리 시스템 개발
	육상전원 공급장치 확대	• (헬싱키항) OPS 적극 설치 • (탈린항) 친환경 전기를 선박에 공급
배출저감 관리(간접: 자동화, 최적화 등)	이산화탄소 포집 및 활용	• (로테르담항/앤티워프항) 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급 • (앤티워프항) 탄소 포집 및 저장 기술 개발
	에너지 효율 개선	• (함부르크항) 매년 에너지 고효율화를 통해 항만 에너지 소비 0.5% 감축 • (포츠머스항) 스마트 에너지 시스템 도입
	대안 에너지 및 스마트 그리드 등	• (로테르담항) 바이오매스, 잔열, 그린수소 활용 • (로테르담항) 산업클러스터와 연계한 에너지 공급 네트워크 마련, 마이크로 그리드 시스템 구축 • (함부르크항) 매년 에너지 고효율화를 통해 에너지 소비를 0.5% 감소

자료: 저자 작성

2. 미국

1) 주요 내용

미국은 탄소중립 달성을 위해 2030년까지 온실가스 배출을 2005년 대비 50~52% 감축하는 목표를 설정하고, 2021년 「미국의 장기 전략: 2050 넷제로 온실가스 배출 경로(The Long-Term Strategy of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)」를 발표하였다. 이를 통해 전력, 운송, 산업, 건물 토지 이용, 석유·가스 등 주요 산업부문의 탄소배출 저감을 본격 추진하고, 의회는 4년마다 진행 상황을 검토하고 이를 바탕으로 탄소중립 달성을 위한 포괄적인 법적 프레임워크를 수정·보완하게 된다. 특히, 해운 분야에 대해서는 저탄소 또는 무배출 연료 및 기술 기반의 선박 개발, 전기화 및 육상전원 공급장치 활용, 선박 운용 에너지 최적화 등을 통한 에너지 효율성 강화, 온실가스 배출 저감을 도모하고 있다. 항만은 해운 분야의 일부로 포함되어, 터미널 장비운영 지원 및 대체 연료 보급 등의 방안을 추진할 예정이다.⁸⁶⁾

〈표 3-4〉 The Long-Term Strategy of The United States의 5대 정책 방향

구분	핵심 방향
탈탄소 발전	• 재생에너지(태양광, 풍력 등) 기반의 청정 전력으로의 전환으로 발전 비용 감축; 연방 및 지방정부 차원의 정책 추진 등으로 전환 가속화 • 2035년까지 청정 전력 기반으로 발전부문의 탈탄소화 추진
전기화 및 청정 연료 전환	• 자동차, 건물, 산업 등 경제 대부분 영역에 비용 대비 효율적인 전기화 추진 • 항공, 해운 등 일부 산업에서는 당장 전기화를 추진하기에는 기술적 한계가 존재; 이들 부문은 그린 수소와 지속가능한 바이오 연료 등의 청정 연료 우선 활용
에너지 절감	• 고효율 가전제품, 건물 에너지 효율성 강화 등을 통해 에너지 절약

86) United States Department of State and the United States Executive Office of the President(2021)

구분	핵심 방향
非CO ₂ 배출 저감	• 지구온난화 기여도가 높은 非CO₂(메탄, 수소불화탄소, 아산화질소 등) 저감 노력 • 특히, 메탄은 지구온난화에 상당한 영향을 끼친 만큼, ‘글로벌 메탄서약(Global Methane Pledge)’을 통해 2030년까지 글로벌 메탄 배출을 최소 30% 저감 예정
이산화탄소 제거 확대	• 2050년까지 기술 개발 등을 통해, 농업 활동에서 배출되는 CO₂ 제거 확대

자료: United States Department of State and the United States Executive Office of the President (2021)를 바탕으로 저자 재작성

〈표 3-5〉 미국의 항만 탄소중립 관련 정책 요약

구분	프로그램	주요 내용
EPA Ports Initiative	항만 배출 인벤토리	• 항만 내 대기오염 배출 인벤토리 작성·활용 방법론 제공
	선박 배출 저감	• 입출항 선박의 연료 사용량과 배출 저감을 위한 선박 속도 저감 프로그램(VSR) • 선박 처리 시간 단축을 위한 항만관리 정보시스템 및 가상 선박 도착 시스템 개발 • 해안전력(Shore Power)⁸⁷⁾ 공급·활용
	화물취급장비	• 노후화 화물처리 장비 교체(Tier 4 디젤 또는 순수 전기 트럭 등) • 적재 및 하역시간 최소화; 운영 최적화
	DERA 보조금	• 항만 대기질 개선 프로젝트 대상 보조금 지급
2050 넷제로 온실 가스 배출경로	Green Shipping Corridors	• 배출 제로 항만 구현을 위한 항만장비 운영 지원 및 대체 연료 보급 또는 재충전 인프라 공급 등

자료: EPA(검색일: 2022.7.15.), U.S Department of state(검색일: 2022.7.15.)

(1) LA항(Port of Los Angeles), LB항(Port of Long Beach)

캘리포니아주 산페드로만 역내 LA항과 LB항의 경우, 캘리포니아 대기자원위원회(CARB)의 주도로 LA항과 LB항의 대기오염 저감을 위한 ‘청정대기 행동계획(CAAP)’을 2006년 채택한 바 있으며, 이는 미국 항만 지역의 대기오염물질 배출저감을 통한 본격 대기질 관리 정책의 시발점으로 볼 수

87) 미국, 유럽 등에서는 육상전원공급장치(AMP: Alternative Maritime Power)와 해안전력(Shore power)을 혼용함

있다. 이후 이행여건의 변화 등을 반영하여 2010년과 2017년, 두 차례에 걸쳐 개정되었으며, 특히 2017년 개정에서는 항만 활동으로 발생하는 이산화탄소(CO₂)를 관리 대상 물질에 추가하였다. 이에 따라, 2030년까지 1990년 항만의 이산화탄소 배출(1,511,975 CO₂e)⁸⁸⁾ 대비 40%, 2050년까지 80% 수준을 감축할 계획이다.⁸⁹⁾

계획에 따르면, 선박, 트럭, 기차, 하역장비, 예·도선 등 항만의 다양한 배출원의 활동에 대한 배출 인벤토리를 작성하고,⁹⁰⁾ 이를 바탕으로 체계적인 대기오염물질 및 탄소 배출 저감 전략을 지속적으로 수정·보완하여 추진하고 있다. 2017년 개정 시점부터 이산화탄소가 배출 인벤토리 작성 대상 물질에 포함되었으나, 개정 이전의 대기오염물질 배출 저감을 위한 정책적 노력에 힘입어 이산화탄소의 배출 역시 2005년 대비 약 15% 감소한 것으로 나타났다.⁹¹⁾

배출 인벤토리 작성 결과 및 목표 대비 성과평가 등을 통해 항만의 배출 원별 전략 및 목표 등을 재설정하고, 다시 이를 평가하기 위한 이해관계자 자문위원회를 연간 최대 4회 운영하여 전략의 이행 상황을 점검하고, 여건 변화에 따른 전략의 수정 필요성을 검토·반영하고 있다.⁹²⁾

이와 별도로, 항만 및 해운 활동으로 인한 배출을 저감하기 위한 항만 차원의 기술 개발 및 관련 인프라 확보를 위해, 2007년부터 ‘기술 선도 프로그램(TAP)’을 출범, 운영하고 있다. 하역 장비 및 항만 전반·선박·철도·트럭 관련 기술 등 항만에서 화물을 처리하는 전 과정에서 획기적 배출저감 등을 위한 선도적 기술 개발을 지원하고 있으며, 이를 통해 하이브리드

88) Starcrest Consulting Group, LLC(2019), p. 5.

89) Port of LA&Port of LB(2017), p. 21.

90) 항만 내에서의 다양한 활동에 따른 배출 인벤토리는 2006년부터 구축하였으며, 2017년 개정판에서는 탄소가 포함됨

91) The port of Los Angeles(검색일: 2022.8.19.)

92) cleanairactionplan.org(검색일: 2022.8.10)

예인선(Foss Hybrid Tug Development and Demonstration), 하이브리드 야드트랙터(Hybrid Yard Tractor-Beta Test), 선박 배기가스 세정 스크러버(Krystallon Exhaust Gas Cleaning Scrubber), 하이브리드 온보드 충전 기술(US Hybrid On-Board Charger for Zero Emissions Cargo Transport Demonstration), 갠트리 크레인 플라이휠 시스템(Vycon Rubber-Tired Gantry Crane REGEN Flywheel System) 등 다양한 기술을 개발·도입하고 있다.

(2) 뉴욕·뉴저지항(Port of NY & NJ)

뉴욕·뉴저지항은 온실가스 저감을 위한 환경 이니셔티브를 통해, 진출입 화물트럭에 대한 트럭 교체 프로그램(TRP) 및 화물트럭 등록 프로그램(DTR), 그 외에도 화물 취급 장비와 선박에 대한 배출 저감정책을 추진하고 있다. 특히, 뉴욕·뉴저지항의 트럭 교체 프로그램(TRP)은 2006년 이전 엔진 모델의 Class 8 트럭을 소유하고 12개월 동안 터미널에서 150회 이상 또는 7,000마일 이상 운행한 트럭의 소유자나 운송업자에게 트럭 교체를 위한 보조금을 제공한다⁹³⁾. 화물운송트럭 등록 프로그램(DTR)은 뉴욕·뉴저지항 터미널에서 운행하는 모든 Class 8 화물트럭을 등록부에 등록하도록 하고, 이를 바탕으로 1997년 이전 엔진 모델을 장착한 화물트럭은 운행이 금지되며, EPA의 배출기준을 준수하는 2010년식 디젤엔진 수준 이상의 엔진을 보유한 트럭만 시스템에 등록할 수 있다.⁹⁴⁾

‘화물 취급장비 현대화 프로그램(Cargo Handling Equipment Modernization Program)’은 터미널 운영자에게 노후 화물취급장비를 전력, 유압 하이브리드, 액화 또는 압축 천연가스 등의 친환경 에너지를 사용하는 신규 장비로 교체하기 위한 보조금을 지원한다. 친환경 선박 인센티브 프로그램

93) Port Authority NY NJ(검색일 : 2022.7.15.)

94) Port Authority NY NJ(검색일 : 2022.7.15.)

(CVI)은 영해선으로부터 20해리 지점부터 10노트 이하로 선속 저감 준수, 선박환경지수(ESI),⁹⁵⁾ Tier 3 기준에 충족하는 엔진 장착 선박 여부 등의 항목을 기준으로 선박별 점수를 평가하여 금전적 인센티브를 제공한다.⁹⁶⁾

2) 구성요소의 식별

〈표 3-6〉 활동 구성요소의 식별: 미국 주요 항만

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	배출 인벤토리	• (LA/LB항) 매년 배출 인벤토리 조사 및 작성, 업데이트
	실시간 대기질 모니터링	• (LA/LB항) 항만 및 인근지역의 대기질(오존, 일산화탄소, 이산화황, 이산화질소 등) 실시간 측정 및 정보 제공
이행·관리전략 수립	실천계획 고도화	• (LA/LB항) 배출 인벤토리 반영, 전략(CAAP)의 지속적인 수정·보완
	이니셔티브 참여	• (LA/LB항) 세계 항만 지속가능성 프로그램(WPSP) 참여 • (LA/LB항) 태평양 항만 청정대기 협력 프로그램(PPCAC) 참여 • (LA/LB항) 세계 항만 기후행동계획(WPCAP) 참여
배출저감 관리(직접)	선 박	• (LA/LB항) 친환경 선박 인센티브; NOx 저감 기술이 적용된 엔진을 탑재한 선박에 대한 인센티브 제공⁹⁷⁾ • (LA/LB항) 선박 속도 저감 프로그램; 항내 운항 속도 12노트 이하로 감속 운항 시 인센티브 제공 • (LA/LB항) 육상전원 공급; 육상전원 공급장치 사용 의무화 시행⁹⁸⁾ • (LA/LB항) 세계 최초 하이브리드 예인선 도입 • (LA/LB항) 육상전원공급장치 활용 • (NY/NJ) 선속 저감 준수, 선박환경지수, Tier 3 기준 엔진 보유 선박에 대한 인센티브 제공 • (오�클랜드/시애틀) 선박 연료 전환 보조금 제공

95) IAPH에서 도입한 선박의 질소산화물과 황산화물 배출을 자발적으로 평가하도록 개발된 지수(ESI)

96) Port Authority NY NJ(검색일: 2022.7.15.)

유 형	활동 구성요소	내 용
	화물트럭	• (LA/LB항) 친환경 트럭에 대한 환경세 면제 • (LA/LB항) 클린 트럭 프로그램 및 무공해 트럭 시범사업 • (NY/NJ) 트럭 교체 보조금 제공 • (오클랜드/시애틀) 클린 트럭 프로그램
	철 도	• (LA/LB항) 기관차의 공회전 시간을 15분 이내로 제한
	항만 하역장비	• (LA/LB항) 최신 친환경 장비 교체 보조금 지급 • (NY/NJ) 신규 장비 교체 보조금 지원
배출저감 관리 (간접: 자동화, 최적화 등)	항만 차원의 기술 개발	• (LA/LB항) TAP; 저탄소 장비 · 선박 · 철도 · 차량 개발 등 탄소배출 저감을 위한 기술 개발 지원
	대안 에너지 및 스마트 그리드 등	• (LB항) 에너지 이니셔티브를 통한 신재생 에너지 확대, 에너지 자립도 향상, 마이크로 그리드 도입 등을 통한 운영 효율화 등 • (LA항) 에너지 관리실행 계획(EMAP)을 수립하여 에너지 복원력, 신뢰성, 가용성, 효율성 및 지속 가능성 강화
이행점검 및 결과반영	전략 수정·보완	• (LA/LB항) 당해연도 배출 인벤토리를 기준연도(2005년)와 비교하여 이행점검; 전략(CAAP)의 지속적인 수정·보완
	거버넌스 운영	• (LA/LB항) CAAP 이해 관계자 자문위원회 운영; 연 최대 4회의 자문회의를 통해 전략 수정, 진행 상황 점검 등

자료: 저자 작성

97) LA항은 Environmental ship index, LB항은 Green ship incentive program을 운영하고 있으며, 명칭은 다르나 거의 동일한 프로그램임

98) 현재 의무화 비율은 전체 입항 선박의 80%이며, 2023년부터 의무화 비율을 90%로 상향

3. 일본, 기타큐슈항(北九州港)

1) 주요 내용

일본은 2021년 12월, 국토교통성 항만국이 「탄소중립항만(CNP) 구축계획 책정 매뉴얼(초판)(カーボンニュートラルポート(CNP)形成計画策定マニュアル(初版))」을 작성하여 배포하고, 개별 항만이 이를 바탕으로 항만의 특성을 반영한 「탄소중립항만 구축계획」을 수립하도록 하였다. 이에 기타큐슈항⁹⁹⁾은 3차례의¹⁰⁰⁾ ‘기타큐슈항 CNP 검토회’¹⁰¹⁾를 거쳐, 2022년 3월, 「기타큐슈항 탄소중립항만 구축계획(초안)(北九州港カーボンニュートラルポート(CNP)形成計画(素案))」¹⁰²⁾을 발표하였으며, 2023년 3월까지 「기타큐슈항 탄소중립항만 구축계획」으로 최종 확정하게 된다.

이에 앞서 기타큐슈항은 2020년, 서일본에서 유일한 해양 재생가능에너지 발전 설비 등의 거점 항만으로 지정된 바 있으며, 이에 따라 해상 항만 구역에 ‘기타큐슈 히비키탄 해상 윈드팜(가칭)’ 건설 절차를 진행하고 있다. 또한 수소타운 실증·PR 거점 구축을 위한 다양한 사업, 재생에너지 기반의 CO₂ 무배출 개념의 수소 제조·공급 관련 실증사업 등을 진행하고 있다.

「기타큐슈항 탄소중립항만 구축계획(초안)」은 항만의 온실가스 감축계획 수립, 수소·암모니아의 장래 수요량 추정, 수소·연료 암모니아 공급계획 수립 및 로드맵 제시 등을 포함하고 있다. 계획의 기본 방침으로, ① 수소·암모니아 등의 공급망 거점으로서의 수입 환경 등의 정비, ② 항만지역의 전면적·효율적 탈탄소화를 표방하고 있으며, 목표 연차는 각각 2030년,

99) 2021년 기준 해상출입화물 기준(중량) 일본 내 5위 항만으로, 주요 수출품목으로는 강재, 코크스, 금속 제품 등이 있으며 주요 수입품목으로는 석탄, 철광석, LNG 등이 있음(北九州港(2022), p. 1, p. 4.)

100) 1회 2021년 6월 28일, 2회 2021년 10월 25일, 3회 2022년 1월 28일

101) 민간사업자, 큐슈지방정비국, 기타큐슈시로 구성

102) 北九州市(2022), pp. 1-13.

2050년으로 설정하였다. 계획의 공간적 대상 범위는 항만 관리자 등이 관리하는 공공터미널(컨테이너, 페리터미널 등), 공공터미널을 경유하여 이루어지는 물류활동(육상 수송 등), 항만구역 및 임항지구 내 기업활동 등을 포함한다. 또한 국토교통성의 가이드라인에 따라 관련 통계 데이터 및 지구온난화 계수 등을 활용하여 이산화탄소 및 메탄, 일산화이질소 등 온실가스의 배출량을 산정하고, 2020년 대비 2030년, 2050년까지 각각의 CO2 배출량 감축 목표를 제시하였다. 이와 함께 2030년, 2050년의 수소·연료 암모니아 공급목표를 아래와 같이 제시하고 있다.

〈표 3-7〉 기타큐슈항의 수소·암모니아 공급목표

(단위: 톤)

구 분		2030년*	2050년*
항내 제조	수소	약 0.6만	약 2.6만
수 입	수소**	0	약 70만
	암모니아***	0	0

주: * 본 표의 공급목표 값은 잠재수요량을 반영하지 않은 값임

** 잠재수요량 전량이 수소로 대체 시 2030년 약 32만 톤, 2050년 약 120만 톤 추가

*** 잠재수요량 전량이 연료 암모니아로 대체 시 2030년 약 211만 톤, 2050년 약 801만 톤 추가

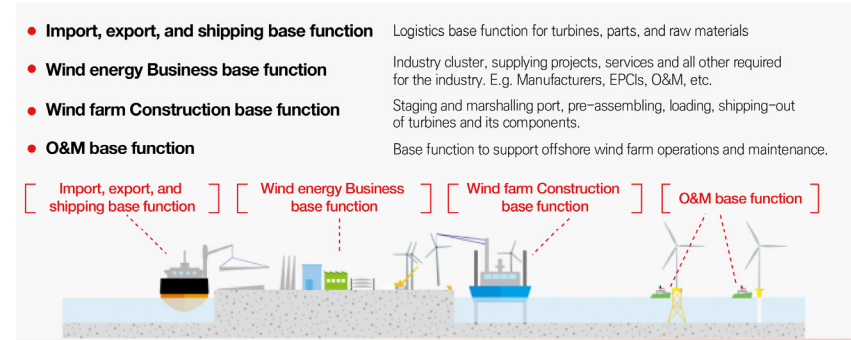
자료: 北九州市(2022), p. 10의 자료를 바탕으로 저자 작성

해당 계획은 직접적인 탄소배출 저감·관리를 위한 방안으로, ① 선박의 탈탄소화 기반 조성, ② 하역운송장비 연료 전환, ③ 기타 항만시설 친환경화, ④ 블루카본 생태계 조성, ⑤ 에너지 소비 저감 등을 구분하여 제시하고 있다. 특히 신재생 에너지를 100% 전력화하고, 이를 통해 하역장비, 관리동, 조명시설 등 항만 내 장비·시설의 에너지 수요에 자체적으로 공급하도록 하고 있다.

직접적인 탄소배출 저감·관리 외에도, 항만 내 전원공급 구조의 다변화, 임항지구에 입지한 민간기업의 생산 프로세스 합리화 등의 방안을 제시하고, 이와 관련하여 기타큐슈항 내 Hibiki-nada 지역을 풍력발전 관련 산

업의 허브로 조성하기 위한 ‘Green Energy Port HIBIKI 프로젝트’를 추진하고 있다. 또한, 이를 위해 풍력발전 관련 산업(제조, 설계, 조달, 시공 및 설치(EPCI), 운영 및 관리 등) 유치 및 클러스터 조성, ‘히비키 해상 윈드팜(가칭)’ 조성, 풍력산업 관련 부품·원재료 등의 수입·수출 거점역량 개선, 그리고 이를 위한 항만 환경 정비 등을 계획하고 있다.

〈그림 3-4〉 풍력에너지 산업 허브의 4가지 기능



자료: Kitakyushu Port & Harbor Bureau(2021)(검색일: 2022.8.7.), p. 3.

계획의 추진성과 등을 점검·평가하고 이를 전략의 내용에 반영하기 위한 방안으로 다양한 이해관계자로 구성된 ‘탄소중립항만 협의회’를 설치하도록 하고 있으나, 이를 평가하기 위한 구체적인 평가방식, 항목 등은 아직 마련 중이다.

2) 구성요소의 식별

〈표 3-8〉 활동 구성요소의 식별: 일본 기타큐슈항

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	배출 인벤토리	• 온실가스 배출량 추정(2013년, 2020년) 1) 공공터미널 내, 터미널 출입 선박·차량 - CO₂: 기타큐슈항 통계 및 전국 수출입 컨테이너 유동 조사 활용 - CO₂ 외(메탄, 일산화이질소 등): 지구온난화 계수를 활용하여 이산화탄소 양으로 환산하여 산정 2) 공공터미널 외 - CO₂: 「지구온난화 대책 추진에 관한 법률에 의거한 온실가스 배출량 산정·보고·공표제도」 보고 대상기업 공표데이터 및 에너지 사용량에 대한 기업 대상 설문·공청회 결과 활용 - CO₂ 외(메탄, 일산화이질소 등): 지구온난화 계수를 활용하여 이산화탄소 양으로 환산하여 산정 • 배출원 분류 - 항만하역기계, 관리동·조명시설·장치장·리퍼 컨테이너, 여객터미널, 정박 중 선박, 터미널 외부 수송차량, 터미널 외 화력발전소·석유화학공장·제철공장·시멘트 제조공장·기타공장 및 부대 항만시설 • 배출계수¹⁰³⁾ - 환경성 홈페이지 ‘온실가스 배출량 산정·보고·공표제도’에 게재된 연료·전력별 CO₂ 배출 원단위 적용 - 에너지 사용량이 없는 경우 단위 활동량당 에너지 사용 원단위 적용
이행·관리전략 수립	계획 수립	• 「기타큐슈항 탄소중립항만 구축계획(초안)」 발표(계획범위: 2030년, 2050년) - 온실가스 감축계획 수립 - 수소·연료 암모니아 수요량 추정 및 공급계획 수립 - 로드맵 제시(단·중기: ~2030년, 장기: ~2050년)
	계획지표 설정	• CO₂ 배출량 감축 목표 제시 - 2020~2030년: 약 729만 톤 감축 - 2020~2050년: 약 1,566만 톤 감축 • 수소·연료 암모니아 공급목표 제시

유 형	활동 구성요소	내 용
배출저감 관리 (직접)	선박 탈탄소화	• LNG 벙커링 거점 형성 - 선박의 LNG 연료로의 전환에 대응 • 수소·암모니아 벙커링 거점 형성 - 선박의 탄소프리 대체 연료 전환에 대응 • 육상전력 공급설비 도입
	하역장비 연료 전환	• 하역장비 전기화·연료전지(Fuel Cell)화 - 신재생 에너지 100% 기반 전력화 • 하역장비 수소엔진 도입
	기타 항만시설 친환경화	• 관리동, 조명시설에 친환경에너지 활용 - 신재생 에너지 100% 기반 전력화 • 관리동, 조명시설에의 수소엔진발전기 도입
	블루카본 생태계 조성	• 동슬래그 몰탈 등을 사용한 소파(消波)블록(테트라포트 등) 활용 • 항만 인프라 건설 시 친환경형 블록 등 활용
	에너지 소비 저감	• 임해부 산업용지에 입지한 발전소, 공장 등 민간 기업의 에너지 절감 대책 검토
배출저감 관리 (간접: 자동화, 최적화 등)	항만 내 전원구성 확대	• ‘Green Energy Port HIBIKI 프로젝트’ 추진 - 기타큐슈항을 풍력에너지 관련 산업의 종합 허브로 만들기 위한 프로젝트 • 자립형 수소 전원 도입 • 메타네이션 시설 도입 • LNG 컴바인드 사이클 발전소 개발 및 수소 등 카본프리 연료 전환 - 기타큐슈 화력발전소 배출 CO₂ 감축 기여 • 수소 등을 활용한 CO₂ 프리 발전소 개발
이행점검 및 결과반영	탄소중립항만 협의회 운영	• 탄소중립항만 구축계획 진척상황 점검·평가 ; 전략에 수정 반영

자료: 北九州市(2022)의 자료를 바탕으로 저자 작성

4. 중국, 상하이항(上海港)

1) 주요 내용

중국은 탄소 배출총량 규제, 에너지 효율성 개선, 산업구조 조정 등에 방점을 둔 탄소중립을 추진하고 있다.¹⁰⁴⁾ 이러한 국가 기조에 맞추어 상하이항¹⁰⁵⁾을 운영하는 상하이 국제 항무집단(SIPG)은 5가지 개발이념, 즉 ‘혁신(创新)’, ‘조정(协调)’, ‘녹색(绿色)’, ‘개방(开放)’ 및 ‘공유(共享)’를 제시하고, 항만 개발방식의 전환 가속화, 녹색항만 전환의 효과적 추진, 에너지 절약 및 배출 감소 등을 통해 친환경 저탄소 항만 구축을 도모하고 있다.

상하이항은 배출 모니터링의 일환으로, 컨테이너 터미널의 탄소 배출량과 탄소 배출강도¹⁰⁶⁾를 산정하고 있다.¹⁰⁷⁾ 다만, 산정방법에 대한 내용은 별도로 제시하고 있지 않으며,¹⁰⁸⁾ 장래 배출량에 대한 전망·예측치 또한 별도로 제시하지 않고 있다. 그 외에도, 정책 이행 효과 추적·평가 등을 위한 동적 에너지 소비 감독 시스템의 구축 및 강화, 에너지 소비 통계 시스템 개선 등 항만 내 모니터링 시스템 강화를 위한 방안을 제시하고 있다.

상하이항의 탄소중립과 관련하여, 운영주체인 SIPG, 그리고 관리주체인 상하이시 지방정부는 각각 이를 원활하게 추진하기 위한 개별 계획을 발표하였다. 우선, SIPG는 2000년대부터 상하이항의 친환경·에너지 소비 절감

104) 오종혁·이효진(2022.1.20.), p. 6.

105) 중국 상하이항은 2021년 기준, 12년 연속 물동량 기준 세계 제1위 컨테이너항만(KMI 중국리포트(2022.1.15.), p. 1.)

106) 탄소 배출강도는 1TEU당 탄소배출량을 의미

107) SIPG(2022a), p. 100.

108) 중국은 탄소배출권 거래를 위해 중국 및 지방정부에서 MRV(Measure, Report and Verify) 지침을 개발해서 활용하고 있으며(추장민 외(2019), pp. 92-96), 이에 상하이시에서도 온실가스 배출량 산정·보고 지침을 제시하고 있음. 항만의 경우 「상하이시 온실가스 배출량 산정 및 보고 기술문서-상하이 교통거점산업의 온실가스 배출량에 대한 산정 및 보고 방법(시행)(上海市发展和改革委员会(2013))」에 산정 방법이 제시되어 있으며, 해당 지침에 의거하여 산정한 것으로 추정

정책을 추진하고 있다.¹⁰⁹⁾ 2015년에는 녹색 순환 저탄소 항만 개발을 위한 지침문서, 「녹색순환 저탄소 항만 건설을 위한 에너지 절약 및 배출 저감 특별계획(建设绿色循环低碳港口节能减排专项规划, 2015~2020)」을 발표하였으며, 매년 발간하는 ‘상하이 국제 항무집단(SIPG) 지속가능성 보고서’¹¹⁰⁾ 및 ‘연례보고서’¹¹¹⁾ 등에서 상하이항의 탄소중립을 위한 주요 활동 및 성과를 공개하고 있다. 상하이시는 「상하이 종합교통발전 14차 5개년 계획(上海市综合交通发展“十四五”规划)」 및 「상하이 국제항운중심건설 14차 5개년 계획(上海国际航运中心建设“十四五”规划)」 등을 통해 탄소중립 전략을 체계화하고 있다. 이들 계획은 2021~2025년 동안 상하이시에서 추진하게 될 항만 부문 주요 정책 방향을 제시하고 있으나, 그 내용을 탄소중립으로 국한하고 있지는 않다. 상하이항의 탄소중립 추진을 위한 주요 사항들을 포함하고 있으며, 지표별로 2020년, 2025년에 달성하고자 하는 목표 수준을 제시하는 등 주요 정책요소의 추진 전략을 체계화·구체화하고 있다.

상하이항 탄소 배출의 직접적인 저감·관리를 위해 추진 계획 중인 방안으로는, 선박의 탈탄소화 기반 조성, 하역·운송장비의 연료 전환, 기타 항만시설의 친환경 전환, 탄소거래 플랫폼 활성화 등이 확인된다. 특히, 이와 관련하여 석유-전기 하이브리드 예인선의 개발, 육상전원 공급설비 관련 연구의 활성화 등 탄소중립 구현을 위한 연구개발 역시 활발하게 추진하고 있다.

109) 김근섭 외(2021), pp. 39-42.

110) SIPG(2022a), pp. 37-53, pp. 99-105.

111) SIPG(2022b), pp. 60-61.

직접적인 저감 활동 외에도, 궁극적인 배출 저감 또는 이와 관련한 방안으로 항만 자동화·지능화 기술의 적용 및 개발, 해운 연계 복합운송체계의 개선, 항만 내 전원구성의 확대, 친환경 자원·제품의 활용 등을 추진하고 있다. 상하이항은 완전 자동화 시스템을 활용하는 지능형 항만 운영을 지향하는 만큼 자동화·지능화·최적화와 관련하여 다양한 사업을 수행·계획하고 있으며, 원활한 물류 수송을 위한 항공, 철도와의 복합운송체계 개선사업 역시 탄소중립 구현과 밀접한 연관이 있다.

항만 탄소중립 활동의 이행점검과 관련한 구체적인 사항은 별도로 확인되지 않는다. 다만, 「상하이 종합교통발전 14차 5개년 계획」 및 「상하이 국제항운 중심건설 14차 5개년 계획」의 주요 내용으로 13차 5개년 계획의 이행 등에 대한 평가가 포함되어 있다.

2) 구성요소의 식별

〈표 3-9〉 활동 구성요소의 식별: 중국 상하이항

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	배출 인벤토리	• 컨테이너터미널 탄소배출량(2019~2021년) • 컨테이너터미널 탄소배출강도(2019~2021년) - 1TEU당 CO₂ 배출량 • 에너지원별 소모량 - 디젤유(tons), 연료유(tons), 전기(MWh) • 직·간접 에너지 소모량 - 직접에너지소비(석탄, 석유, 가스 등 화석연료), 간접에너지소비(구매전력, 증기 등)
	모니터링 강화	• 동적 에너지 소비 감축 시스템 구축 강화 • 에너지 소비 통계 시스템 개선 • 선박 오염물질 배출 전 과정 감축 메커니즘 최적화 • 배출저감·관리 관련 R&D 연구 활성화

유 형	활동 구성요소	내 용
이행·관리전략 수립	계획 수립	• 「SIPG 녹색순환 저탄소 항만 건설을 위한 에너지 절약 및 배출 저감 특별계획(2015~2020)」 수립 - SIPG의 항만 에너지 절약 및 감축, 친환경 순환 저탄소 항만 건설을 위한 지침문서 • 「상하이 종합교통발전 14차 5개년 계획」 수립 - 교통의 친환경, 저탄소 발전 촉진 관련 내용 포함 • 「상하이 국제항운중심건설 14차 5개년 계획」 수립 - 안전하고 편리하며 스마트한 녹색 허브 항만 구축, 저탄소 친환경 스마트해운 산업 생태계 조성 관련 내용 포함
	계획지표 설정	• 「SIPG 녹색순환 저탄소 항만 건설을 위한 에너지 절약 및 배출 저감 특별계획(2015~2020)」 - 항만 생산 단위 처리량당 종합 에너지 소비량(2010년 대비 2020년 16% 감소) - 탄소배출강도(2010년 대비 2020년 20% 감소) • 「상하이 종합교통발전 14차 5개년 계획」 및 「상하이 국제항운중심건설 14차 5개년 계획」 - 컨테이너 환적화물(수수(水水)환적) 비율(2020년 현재 51.6%, 2025년 목표 52% 이상) - 컨테이너 해상-철도 복합운송량(2020년 현재 26.8만 TEU, 2025년 목표 65만 TEU 이상) - 육상전력공급설비 적용 범위(2020년 현재 79%, 2025년 목표 100%)
배출저감 관리 (직접)	선박 탈탄소화	• 석유-전기 하이브리드 예인선(Higang 711) 개발 및 도입 추진 • 페리, 유람선 및 공무원선 청정 에너지 사용 촉진 • LNG bunker링 건설 확대 • 노후 선박 제거 및 갱신 장려 • 육상전원공급설비 건설지원 • 육상전원공급설비 관련 연구 활성화 등
	하역장비 연료 전환	• 전력기반 하역운송장비 도입 • 하이브리드 RTG 도입 • 타워크레인 연료 하이브리드화 • 수소연료전지 크레인 시험가동(도입) • 콘형 배터리 및 소형 배기량 엔진 기반 타이어 크레인 도입 • LNG 트레일러 도입

유 형	활동 구성요소	내 용
	기타 항만시설 친환경화	• 항만 내 조명기구 LED화
배출저감 관리 (간접: 자동화, 최적화 등)	항만 자동화· 지능화	• 타이어크레인 원격 반자동화 전환 • 전력기반 자동화 대형 컨테이너 레일 크레인 도입 • 스마트 항만 시스템 기능 개선 • 스마트트럭 및 항만 지능형 운송차량(AIV) 개발 • 자율주행기술 표준 및 사양 개발 • 자동화·지능화·최적화 관련 R&D 연구 활성화
	해운 연계 복합운송 체계 개선	• 해상 및 항공 허브의 수집·배송체계 개선 • 해상-철도 복합 운송 활성화를 위한 공공정보 플랫폼 구축
	항만 내 전원구성 확대	• 태양광발전소 건설 • 풍력-태양열 하이브리드 전원 공급 활성화 • 수소연료 저장·운송·충전 기술 개발 및 보급 활성화 • 바이오연료 활용 모색
	탄소거래 플랫폼 활성화	• 탄소거래 플랫폼 연관 산업·기업 확장
	친환경 자원·제품 활용	• 항만 인프라 건설 시 친환경 자원 이용 활성화 • 고효율, 에너지 절약 및 환경 보호 기술 적용 등 친환경 제품 우선 조달

자료: SIPG(2022a), SIPG(2022b), SIPG(2015), 上海市人民政府(2021a), 上海市人民政府(2021b)의 자료를 바탕으로 저자 작성

5. 국내, 부산항

부산항만공사는 2022년 수립을 목표로 「부산항 2050 탄소중립 종합계획」을 마련하고 있다. 이를 위해 2050년까지 부산항을 탄소중립 항만으로 전환하기 위한 전략 및 과제 등을 도출하고, 중장기 온실가스 감축 이행 로드맵, 부산항 에너지 자립계획이 포함된 탄소중립 종합계획을 수립할 예정이다.¹¹²⁾ 이를 위한 핵심 전략 ① 탈탄소화, ② 분산화, ③ 디지털화를 추진하기 위해,¹¹³⁾ 부산항의 특성에 따른 단계별 온실가스 감축 목표, 나아가 2050 탄소중립을 위한 중장기 세부 추진과제를 배출원과 전략별로 발굴하고 실행방안을 마련하고 있다. 중장기 온실가스 감축 이행 로드맵 수립을 위해, 세부 온실가스 배출 저감·흡수를 위한 연차별 목표와 탄소중립 목표 달성을 위한 연차별 세부 실행계획을 수립하고, 세부 추진과제별 이행점검과 성과평가 관리체계를 마련할 예정이다. 또한, 부산항에 적용할 수 있는 신재생 에너지를 발굴하고, 별도의 운영방안을 마련해 항만 차원의 에너지 자립계획을 수립하게 된다.

한편, 부산항은 친환경 에너지 확보, 재생에너지 비중 확대 등을 구현하기 위한 방안으로, 수소 기반 탄소중립 항만 구축을 도모하고 있다. 스마트 항만으로 전환을 위해서는 선행적으로 ‘자동화’를 실현해야 하는데, 자동화를 위해서는 전력의 안정적인 공급이 필수적이기 때문이다.¹¹⁴⁾ 이를 위해 수소를 기반으로 하는 ‘친환경 에너지 자립항만 부산항 구축’을 위한 기술협력 MOU를 (사)한국선급과 체결하고, 기술협력을 통해 현재 운영 중인 항만안내선을 276톤급의 110명이 승선할 수 있는 전기추진 선박으로 신조하기로 했다.¹¹⁵⁾

이와 더불어, 부산항의 탄소배출을 줄이기 위한 방안으로 선박의 탈탄소화

112) 부산항만공사(2022.2.)

113) 해양한국(2022.7.28.)(검색일: 2022.8.2.)

114) 한국경제(2018.12.18.)(검색일: 2022.7.28.)

115) 한국경제(2021.5.28.)(검색일: 2022.9.2.)

기반 조성, 하역·운송장비의 연료 전환, 기타 항만시설의 친환경 설비 전환 등의 사업을 추진하고 있다. 우선 항만 내 선박의 배출 저감을 위해, 2019년 12월부터 ‘선박저속운항 프로그램’을 도입·운영하고 있다. 입출항 선박에 시속 12노트 이하의 속도로 저속운항하도록 권고하고, 이를 이행하는 선박에 항만시설 사용료를 감면해 주는 등 행정적·재정적 지원을 제공하고 있다.¹¹⁶⁾

또한, 정박 중인 선박의 배출을 저감하기 위한 방안으로, 육상전원 공급설비(AMP)를 2018년부터 시범적으로 구축·운영하고 있으며, 현재 부산항 신항 3·4부두의 4개 선석에 8개, 북항의 감만부두와 신선대부두에 12개의 AMP 설비를 설치 완료하였다. 2022년에는 선박이 AMP 설비의 위치에 맞추어 접안할 수 없어 육상전원 이용이 어려운 경우에도 사용할 수 있도록, 부산항 신항에 ‘이동형 육상전원공급설비 연결 케이블’ 2기를 도입했다.¹¹⁷⁾

〈그림 3-5〉 이동식 AMP 케이블



자료: 한국농어촌방송(2022.6.22.)(검색일: 2022.6.29.)

항만 내 하역운송장비의 경우, 에너지 전환 사업을 체계적으로 추진하고 있다. 특히, 2025년까지 친환경 장비로 100% 전환하고, 이를 위해 우선

116) 부산일보(2021.11.26.)(검색일: 2022.6.13.)

117) 한국농어촌방송(2022.6.22.)(검색일: 2022.6.13.)

2015년부터 경유 야드트랙터의 LNG 연료전환 사업을 수행하고 있다.¹¹⁸⁾ 이와 함께, 일반 도로에서 컨테이너를 운송하는 장비인 로드트랙터에 대해서도 「부산항 친환경 LNG 로드트랙터 도입사업」을 2022년부터 착수했다.

부산항은 직접적인 저감 활동 외에도, 항만 업무 효율 개선을 통해 에너지 효율 개선, 나아가 온실가스 배출을 저감하기 위한 방안을 시도하고 있다. 우선, 2016년 부산항 내 차량반출입 예약시스템(VBS)을 구축하고 이를 시범사업으로 운용한 결과, 컨테이너 반출입 예약 시 항만 내 대기시간이 평균 15% 이상 감소하였다.¹¹⁹⁾ 부산항 신항 6부두에는, 선박의 대형화와 항만 자동화 확산에 대응하기 위해 국내 최초로 무인 안벽 크레인 8기를 설치·운용하고 있다.¹²⁰⁾ 이는 원격 조종을 통해 컨테이너를 선적·하역하는 자동화 시스템으로, 하역 과정의 효율성을 획기적으로 개선할 수 있다.

부산항은 디지털트윈 및 5G 기술 기반의 ‘스마트 항만물류 플랫폼’의 고도화 사업을 추진하고 있다. 스마트 항만물류 플랫폼은 선박·항만·배후물류 현장 및 데이터를 실시간으로 통합 연계하여, 다양한 알고리즘을 기반으로 항만 및 배후물류의 효율성과 생산성을 높일 수 있다. 핵심 기능을 검증한 결과, 선박 입출항 최적화 기능 활용 시, 선박의 대기시간은 35%, 이에 따른 연료의 소모량 역시 27% 감소하는 것으로 나타났다.¹²¹⁾ 하역장비의 최적 배치 알고리즘을 적용한 경우에는 장비의 운용 효율이 16% 높아지는 등 항만 운영의 효율성을 개선하는 다양한 성과를 확인했다.¹²²⁾ 나아가 디지털 트윈 모델링을 적용하기 위해 선박의 위치정보 수집 범위를 대폭 확대하고, 터미널 운영 시스템과 연계한 항만 운영 기능을 강화하여 외부 화물차량 대기시간을 최소화하는 등 운영효율의 극대화를 도모하고 있다.

118) 현대해양(2022.3.18.)(검색일: 2022.6.14.)

119) 경남일보(2022.02.02.)(검색일: 2022.6.17.)

120) 대한민국 정책브리핑(2022.6.16.)(검색일: 2022.6.19.)

121) 부산일보(2022.4.10.)(검색일: 2022.6.19.)

122) 서울경제(2022.4.6.)(검색일: 2022.6.19.)

〈그림 3-6〉 디지털 트윈 항만 개념도



자료: 해양한국(2022.4.7.)(검색일: 2022.8.17.)

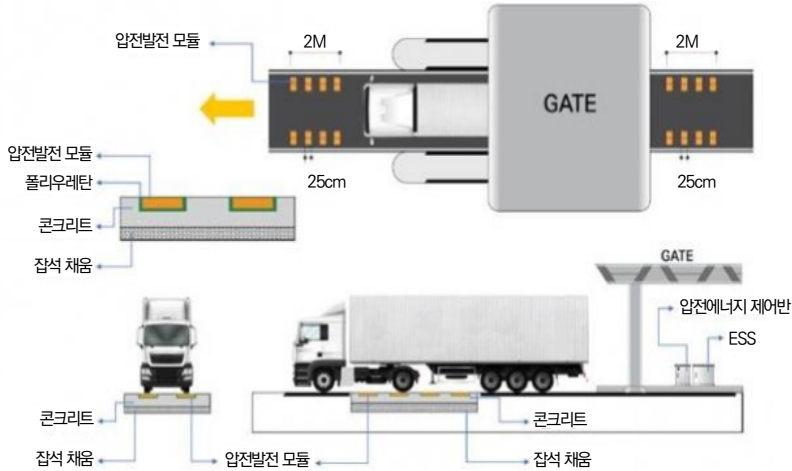
그 외에도, 항만 내 전원공급 구조 다변화, 친환경 자원·제품의 개발 및 활용 등을 추진하고 있다. 2019년 한국남부발전과 ‘부산 신항 태양광 발전 사업 협약’을 기반으로, 대용량 태양광 개발, 신재생 에너지 확대 및 친환경 항만으로의 전환을 시도하고 있다.¹²³⁾ 이와 함께 신항 게이트용 스마트 압전발전 시스템을 개발 중이다. 압전발전 시스템은 물체의 하중을 이용한 전력 생산 방식으로, 컨테이너 수송 차량이 게이트를 출입할 때 발생하는 압력과 진동을 전기에너지로 변환·저장할 수 있다.¹²⁴⁾ 항만 게이트용 압전발전 시스템은 향후 2년간 시스템 개발과 시범사업을 통해 전기에너지의 생산량과 품질을 검토·개선하고, 생산된 전기는 항만 조명등, 하역장비, 전기차 충전소 등 다방면으로 활용될 예정이다.¹²⁵⁾

123) 신재생에너지가이드 뉴스(2019.12.4.)(검색일: 2022.7.23.)

124) 부산일보(2021.11.19.)(검색일: 2022.6.19.)

125) 한국경제(2021.11.19.)(검색일: 2022.6.19.)

〈그림 3-7〉 압전발전 시스템 개념도



자료: 연합뉴스(2021.11.19.) (검색일: 2022.9.28.)

2) 구성요소의 식별

〈표 3-10〉 활동 구성요소의 식별: 국내 부산항

유 형	활동 구성요소	내 용
배출 모니터링	배출 인벤토리	• 대기환경 개선 위한 배출 및 대기오염 모니터링 강화 • 온실가스 인벤토리 작성 준비 중
이행·관리 전략 수립	계획 수립	• 「부산항 2050 탄소중립 종합계획」 수립 추진 - 수소 기반 친환경 에너지 자립항만 구축 추진
배출저감 관리 (직접)	선박 탈탄소화 기반 조성	• LNG 벙커링 건설 추진을 위한 연구 지원, 한국가스공사와 업무협약 • 육상전원공급설비(AMP) 구축; AMP 케이블 도입 • 선박저속운항 프로그램 운영 • 전기 추진 항만안내선 건조
	하역운송장비 연료 전환	• 경유 야드트랙터 LNG 연료전환 사업 추진 • LNG 로드트랙터 도입

유형	활동 구성요소	내용
배출저감 관리 (간접: 자동화, 최적화 등)	항만 자동화·지능화 기술 개발 및 도입 촉진	• 부산항 차량반출입 예약시스템 도입 • 디지털 트윈, 5G 기술 기반 스마트 항만물류 플랫폼 고도화 사업 착수 • 무인 안벽 크레인 도입 및 컨테이너 무인 이송 장비 도입 계획 • 자동화·지능화·최적화 관련 R&D 연구 활성화
	항만 내 전원구성 확대: 친환경 분산형 전원 확대	• 풍력-태양열 하이브리드 전원 공급 활성화 • 수소연료 저장·운송·충전 기술 개발 및 보급 활성화 • 부산항 게이트용 스마트 압전발전 시스템 개발 • 태양광 발전 설치·운영(부산 신항)
	에너지 소비 저감	• 에너지절약형 저탄소·친환경 편의시설 설치 - 2018년 감천항에 에너지 소모를 최소화할 수 있도록 설계된 '패시브하우스(Passive House)'형 편의 시설 도입 • 노후 조명기구 LED 교체
	친환경 자원·제품 활용	• 건설폐자원의 재활용 활성화를 통해 친환경 항만 건설 - 2년간 건설자원 재활용으로 경제적·환경적 편익 약 22억 원 - 2022년도 순환골재 248% 확대 사용으로, 약 56억 원 편익 예상 • 항만형 LED 옥외투광등 신제품 개발 - 기존 '비대칭 1KW 등기구' 7,000여 개를 '항만형 LED 옥외투광등' 500W급으로 2020년까지 교체 - 연간 약 12억 원의 전력요금 절감 및 5,600톤의 온실가스 감축 추산

자료: 경남일보(2022.02.02.), 물류신문(2011.6.23.), 부산일보(2021.1.17.), 부산일보(2021.11.19.), 부산일보(2021.11.26.), 서울경제(2021.9.14.), 서울경제(2022.4.6.), 서울경제신문(2022.2.25.), 서울경제신문(2022.4.6.), 신재생에너지가이드 뉴스(2019.12.4.), 아주경제(2021.5.27.), 연합뉴스(2016.4.20.), 연합뉴스(2020.1.27.), 연합뉴스(2021.8.5.), 연합뉴스(2021.11.19.), 영남신문(2021.2.21.), 영남신문(2022.1.17.), 이코노믹포스트(2021.7.21.), 이코노믹포스트(2022.6.16.), 한국경제(2018.12.18.), 한국경제(2021.5.28.), 한국농어촌방송(2022.6.22.), 한국은행 북경사무소 보도자료(2021.7.19.), 해사정보신문(2022.1.27.), 해양수산부 보도자료(2022.6.16.), 해양한국(2022.4.7.), 해양한국(2022.7.28.), 해운산업신문(2021.2.19.), 현대해양(2022.3.18.), 환경부 보도자료(2011.1.14.), 환경부 보도자료(2021.7.24.), 환경부 보도자료(2021.8.31.)를 참고하여 저자 작성

04

항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)

제4장에서는 제3장에서 식별된 ‘항만 탄소중립 이행·관리활동’ 항목을 바탕으로 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 제시하였다. ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’은 제도를 마련해야 하는 중앙정부는 물론, 항만 탄소중립 이행의 주체인 항만당국 및 지방자치단체, 나아가 관련 기관, 산업계 등이 자신의 환경 및 여건에 부합하는 최적의 이행전략을 수립·추진하는 데에 있어 필수적인 근거자료 또는 가이드라인 정도로 이해할 수 있다.

본 연구의 표준안은 국내 항만의 탄소중립 구현을 위해 필수적으로 요구되는 ‘항만 탄소중립 이행·관리활동’을 선별하고, 이를 유형별로 구분하여 장기적인 탄소중립 목표를 달성하기 위한 지침의 형태로 정리하였다. 이는 향후, 이행·관리의 점검·평가를 위한 평가모형의 지표로 활용할 수 있다.

[항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)]

장기적인 목표인 ‘항만의 탄소중립’ 구현을 위해 요구되는 활동, 즉 ‘항만 탄소중립 이행·관리활동’ 중 국내 항만에 부합하는 활동을 선별하여, 유형별 분류체계와 함께, 유형 및 세부활동의 개념 및 주요 방법론, 핵심지표 제시

→ 항만의 탄소중립 구현을 위한, 중앙정부 및 항만당국, 관할 지자체 등 주요 이행주체의 이행전략 수립 및 추진을 위한 지침 형태의 가이드 제공

다음에서는 우선, 항만 탄소중립 이행·관리활동의 개념 및 주요 원칙, 주요 방법론 등을 정리하였다. 이어서, 항만의 탄소중립 구현을 위해 요구되는 활동요소와 이들의 속성 구분에 따른 유형별 개념 및 작동원리를 정의하고, 체계상 유형별 속성에 포함되는 세부활동 요소의 핵심지표를 각각 제시하였다.

제1절 개요

1. 항만 탄소중립 이행·관리활동의 개념

‘항만 탄소중립 이행·관리활동’은 앞서 도출한 ‘항만의 탄소중립’ 즉, 항만의 순배출을 제로화하기 위해 요구되는 활동 전반으로 이해할 수 있다. ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’에서 제시하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리활동’은 현시점에서 적용 가능하거나, 기술의 발전 여부에 따라서 탄소중립 구현을 위한 핵심 기술 또는 정책적 방법론으로 적용 가능할 것으로 판단되는 항목으로 정리할 수 있다.

[항만 탄소중립 이행·관리활동]

‘항만의 탄소중립’ 즉, 항만의 순배출을 제로화하기 위해 요구되는 활동 전반

항만의 탄소중립은 기본적으로 항만의 직간접 배출의 방지·저감, 추진 전략의 대상 및 범위에 따라서 흡수 및 상쇄, 이를 위한 에너지 효율 개선 및 에너지 자립 및 연계 등의 그리드 구축 등으로 구현할 수 있다. 또한, 이를 보다 효과적으로 추진하기 위한 체계적 접근활동 즉, 항만 활동으로 인한 배출 현황 파악 및 전망, 이를 바탕으로 개별 활동 및 사업의 우선 순위 및 추진방안 및 일정 등의 설정·공표, 환경변화에 따른 전략 수정 또는 개선사항 도출 등을 위한 점검·평가 등이 필수적으로 요구된다.

이들 활동항목은 궁극적으로 항만의 ‘Climate neutrality’ 또는 ‘Net zero’ 개념의 실질적 구현을 목표로 수행되어야 하며, 이를 이행·달성하는 과정에서 최근 도입되거나 강화되고 있는 국내외 관련 규범 및 이에 따른 규제 수준 등의 준수 역시 기대할 수 있다.

2. 대상 및 범위

항만의 탄소중립 이행·관리를 위해 요구되는 활동을 식별하기에 앞서, 이행·관리의 대상 및 범위의 확정이 필요하다. 앞서 살펴본 바와 같이, 항만의 탄소중립은 기본적으로 온실가스의 배출을 저감 또는 방지하거나, 배출된 온실가스의 흡수 또는 상쇄, 나아가 이를 위한 에너지 수요를 신재생 에너지 기반의 믹스, 전환 등으로 구현할 수 있다. 따라서, 기본적으로 온실가스 배출 인벤토리 및 배출량 산정 및 전망 결과를 바탕으로 접근할 수 있다.

1) 대상 물질의 확정

우선 앞서 살펴본 바와 같이 이행·관리의 대상 물질의 범위 및 방식에 따라서, 현재 ‘교토의정서’에서 6대 온실가스로 규정하고 있는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화화합물(PFCs), 육불화황(SF_6) 또는 그 외에 지구 온난화에 유의미한 영향을 미치는 기타 온실가스를 포함하는 물질을 대상으로 배출 저감 및 방지와 배출된 물질을 흡수하고 제거하기 위한 ‘Climate neutrality’ 또는 ‘Net zero’의 개념, 그리고 대상 물질을 이산화탄소로 국한하는 ‘Carbon neutrality’의 개념으로 구분할 수 있다.

〈표 4-1〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물질 구분

구분	대상 물질	비고
Climate neutrality 또는 Net zero	6대 온실가스	• 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화화합물(PFCs), 육불화황(SF_6)
	기타 온실가스 포함	
Carbon neutrality	이산화탄소(CO_2)	

자료: 저자 작성

2) 물리적 범위 및 업무경계의 확정

이와 더불어, 이행·관리의 대상 배출원 및 지역 경계에 대한 확정이 필요하다. 항만의 탄소중립 이행·관리활동은 본질적으로 배출권 거래제 할당과 관련된 사안은 아니나, ‘항만의 배출은 어디까지’인지, 나아가 ‘항만의 탄소중립 이행·관리의 대상은 어느 범위까지 포괄하거나 제외해야 하는지’에 대한 결정에 있어 통제접근법 가운데 ‘운영통제 범위’를 기준으로 경계를 설정하는 ‘조직경계’의 개념을 차용할 수 있다.

이는 본디 특정 기업/조직의 온실가스 인벤토리를 작성·구축하기 위한 표준방식을 제시한 세계자원연구소(WRI)와 지속가능 발전 국제기업협의회(WBCSD)의 경계 구분 방식으로,¹²⁶⁾ 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 역시 이를 준용하고 있다. 이에 따르면, 항만의 경우 항만당국 또는 ‘항만’이 운영상의 정책 도입과 실행에 모든 권리를 가지는 경우(조직 경계의 구분), 즉 운영에 대한 통제권을 가지는 물리적 범위 및 업무적 범위를 이른바, ‘항만 탄소중립 이행·관리의 경계 범위’로 설정할 수 있다.

〈표 4-2〉 항만 탄소중립 이행·관리 대상 및 범위: 물리적 범위 및 업무경계

구분(운영 경계)	경계 범위	비 고
Scope 1	‘항만’의 통제영역 내 활동으로 인한 직접 배출	
Scope 2	항만 활동의 결과에 따른 배출이나, 외부의 소유 또는 통제하에 있는 간접 배출	• 구매 전력의 사용으로 인한 간접 배출 등
Scope 3	항만 활동의 가치사슬(Value chain)에서 발생하는 배출	• ‘전주기 평가(LCA)’ 개념 적용

자료: 저자 작성

126) Greenhouse Gas Protocol

이어서, ‘운영경계’의 개념을 차용하여 ① ‘항만’의 통제영역 내 활동으로 인한 직접 배출(Scope 1), ② 항만 활동의 결과에 따른 배출이나, 외부의 소유 또는 통제하에 있는 간접 배출(Scope 2), 즉 구매 전력의 사용으로 인한 온실가스의 간접 배출 등, 마지막으로 ③ 최근 적극적으로 논의되고 있는 ‘전주기 평가(LCA)’ 개념을 적용하여 항만산업의 가치사슬(Value chain)에서 발생하는 배출(Scope 3)에 따른 대상 경계범위의 설정이 필요하다.

제2절 유형별 분류

항만의 탄소중립을 구현하기 위해 요구되는 활동의 표준안을 도출하기 위해, 연구진은 국내외 규범 및 이행현황, 관련 지침 및 연구 등에 대한 문헌조사 및 비교분석 결과를 바탕으로 이행·관리 요구항목(예비 표준)을 구성하였다. 분야별 전문가 및 실무자들을 대상으로 하는 핵심그룹 인터뷰(FGI) 과정을 통해, 연구진이 도출한 초안의 개별 항목 및 유형/활동별 분류체계 및 기준, 개념 등을 확정하여 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’ 구성을 위한 활동항목(구성요소) 전반에 대해서, 개별 활동의 속성에 따라 크게 2개의 유형, 즉 ‘① 이행·관리체계의 구축’, ‘② 배출 저감 및 관리’ 활동 및 이를 위한 세부활동 항목으로 구분하였다.

1. 항만 탄소중립 이행·관리체계 구축

1) 배출 모니터링

항만의 탄소중립을 구현하기 위해서는 선행적으로 항만 활동으로 인한 배출의 규모 및 특성 등을 명확하게 파악해야 한다. 해당 항만의 고유 특성으로 인한 배출원의 현황, 이들의 운영 특성으로 인한 배출물질의 종류 및 배출 양상은 상이하게 나타날 수 있으며, 이러한 정보의 수집·산정을 통해 문제점 및 개선이 필요한 부분을 올바르게 파악할 수 있다. 또한, 해당 항만의 배출저감·방지 대상 및 우선순위 등의 선별, 최적 해결방안의 개발·적용 등을 결정하기 위한 근거자료로 활용할 수 있다.

따라서, 항만의 조직경계 내에서 운영통제 범위의 구분에 따른 직·간접 배출원의 종류 및 운영현황을 조사하고, 해당 배출원의 운용으로 인한 관리 대상 온실가스의 배출량을 산정, 전망하기 위한 모니터링 활동은 이행

과 관련한 위험 요인을 정확하게 평가하고 이에 적절하게 대응하기 위한 첫걸음이라 할 수 있다. 또한, 아래의 이행·관리전략 수립 및 점검·평가활동의 수행을 위한 가장 중요한 근거자료로 활용할 수 있다.

이와 유사한 항만의 대기오염물질 모니터링의 경우 대기오염물질의 보건의적 위해 저감을 목적으로 항만 및 인근지역의 대기오염 양상을 파악하는 활동으로, ① 특정 대기오염물질의 대기 중 오염농도 측정, ② 배출원별/대기오염물질별 배출량 산정, 그리고 ③ 배출-오염 현황 자료를 기반으로 수행하는 이동 및 영향 파악 과정으로 구분할 수 있다.¹²⁷⁾ 하지만, 항만의 탄소중립과 관련한 모니터링은 본질적으로 ‘지구의 온난화 방지’를 위한 배출 모니터링에 방점을 두고 있으며, 대기 중으로 배출된 온실가스의 이동 및 이에 따른 영향 등은 국지적인 모니터링 및 분석보다는 전 지구적이거나 중장기 시계열 모니터링에 의한 접근이 요구된다.

‘배출 모니터링’은 항만의 각종 활동으로 인한 배출의 규모 및 특성 등을 명확하게 파악하기 위한 과정으로, 항만의 탄소중립 이행을 위해 가장 선행적으로 수행되어야 한다. 이는 ‘항만의 온실가스 배출원 조사’와 이에 따른 ‘항만의 온실가스 배출 인벤토리 작성’으로 구분할 수 있다.

〈표 4-3〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-1. 배출 모니터링

유형	개념
배출 모니터링	• 항만 활동으로 인한 온실가스 배출의 규모 및 양상, 특성 등을 명확하게 파악하기 위한 과정 - 배출 인벤토리 작성을 위한 배출원별 현황, 활동 데이터 등 수집 - 해당 항만의 온실가스 배출 인벤토리 작성 - 산정결과 정확도 보정·개선 위한 실제 배출 측정 등

자료: 저자 작성

온실가스 배출원 조사 활동은 우선 ① 대상이 되는 항만의 배출 또는 탄

127) 안용성 외(2020), p. 153.

소중립 이행·관리의 대상이 되는 공간적 경계·범위 및 이에 해당하는 배출원의 대상 목록 포함 여부, 모니터링 및 관리 대상 물질의 규정, 이어서 ② 대상 온실가스 물질의 배출을 모니터링하기 위한 대상 배출원의 현황 및 활동 데이터 수집 및 선별·정리 등으로 이행되어야 한다.

수집·정리된 배출원 조사결과를 바탕으로, 항만의 온실가스 배출 현황을 파악하고 배출원별 또는 시계열 비교분석에 다른 문제점 파악, 개선사항 도출 등을 위한 ‘온실가스 배출 인벤토리’ 작성이 필요하다. 이는 보고를 위한 항만 배출 총량 도출에 초점을 두기보다는, 정확한 문제·성과를 발굴하고 이에 따른 개선사항을 도출하기 위해 가능한 시공간적으로 고밀도, 즉 고해상도의 산정·측정 데이터를 생산해야 하며, 이를 위해서는 기존의 하향식 산정 방식보다는 상향식 산정 패러다임의 본격적인 적용이 요구된다.

〈표 4-4〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-1. 배출 모니터링

유형	활동	지표 항목
배출 모니터링	항만 온실가스 배출원 조사	• 관리 범위·대상 규정
		• 항만 온실가스 배출원 조사
	항만 온실가스 배출 인벤토리 작성	• 항만 온실가스 배출 인벤토리 작성 및 평가
		• 주요 배출원 배출실태조사 (배출 측정)

자료: 저자 작성

2) 이행·관리전략 수립

항만의 탄소중립 구현을 위한 이행·관리전략은 개별 항만의 배출 모니터링에 의한 정확한 기초자료를 기반으로 해당 항만 및 지역의 고유 자원(Resources)과 수요(Needs), 관련 규범 및 이에 따른 현안 등을 면밀히 고려하여 문제 해결을 위한 정책적·기술적 조치들의 우선순위를 정하고, 이를

바탕으로 체계적으로 접근함으로써 정책의 효과를 제고하기 위한 방안으로 이해할 수 있다.¹²⁸⁾ 이는 국내외 관련 규범의 준수를 넘어서 개별 항만의 실질적 탄소중립 구현을 위한 체계적 접근방식의 일환으로, ① 전략의 수립을 통해 항만 활동으로 인한 온실가스 배출 모니터링 결과를 바탕으로 탄소중립 구현을 위한 주요 조치의 우선순위, 그리고 이들의 도입·적용방안 및 일정, 목표 수준 등을 설정하는 한편, ② 이를 효과적으로 이행하기 위한 업무·조직 체계의 구성 또는 정비 활동으로 구분할 수 있다.

〈표 4-5〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-2. 이행·관리전략 수립

유형	개념
이행·관리전략 수립	• 국내외 관련 규범의 준수를 넘어서 개별 항만의 실질적 탄소중립 구현을 위한 체계적 이행·관리 방안 마련 - 온실가스 배출 인벤토리를 바탕으로, 항만의 미래 배출 전망 및 분석 - 문제점 및 관련 현안 구체화; 이에 대한 유효 기술·정책적 조치 선별, 도입·적용 우선순위 도출 - 목표수준 및 추진 일정 제시; 추후 환경 변화 및 이행점검 결과 등에 따른 재조정 - 효과적 이행을 위한 업무·조직 체계의 구성 또는 정비

자료: 저자 작성

현재 항만을 포함한 전 사회적 탄소중립의 목표 수준 및 일정은 정해졌으나, 이를 구현하기 위한 기술 및 정책적 대안의 유효성은 상대적으로 준비가 미흡한 상황으로, 탄소중립을 위한 직·간접적 대안의 방법론은 국내외에서 연구 개발 및 적용·검증 과정이 활발하게 진행 중이다. 따라서, 항만의 탄소중립 구현을 위한 정책활동은 추후 이들 대안에 대한 최신의 유효성 검증결과를 수시로 반영할 수 있어야 한다. 또한, 국내외 규범의 시행 여부에 따른 일률적 대응보다는 개별 항만 및 해당 지역사회·산업의 고유한 환경, 특성 등을 반영한 맞춤형 대응방식으로 설계되어야 한다.

128) 안용성 외(2020), p. 147 내용을 수정하여 저자 작성

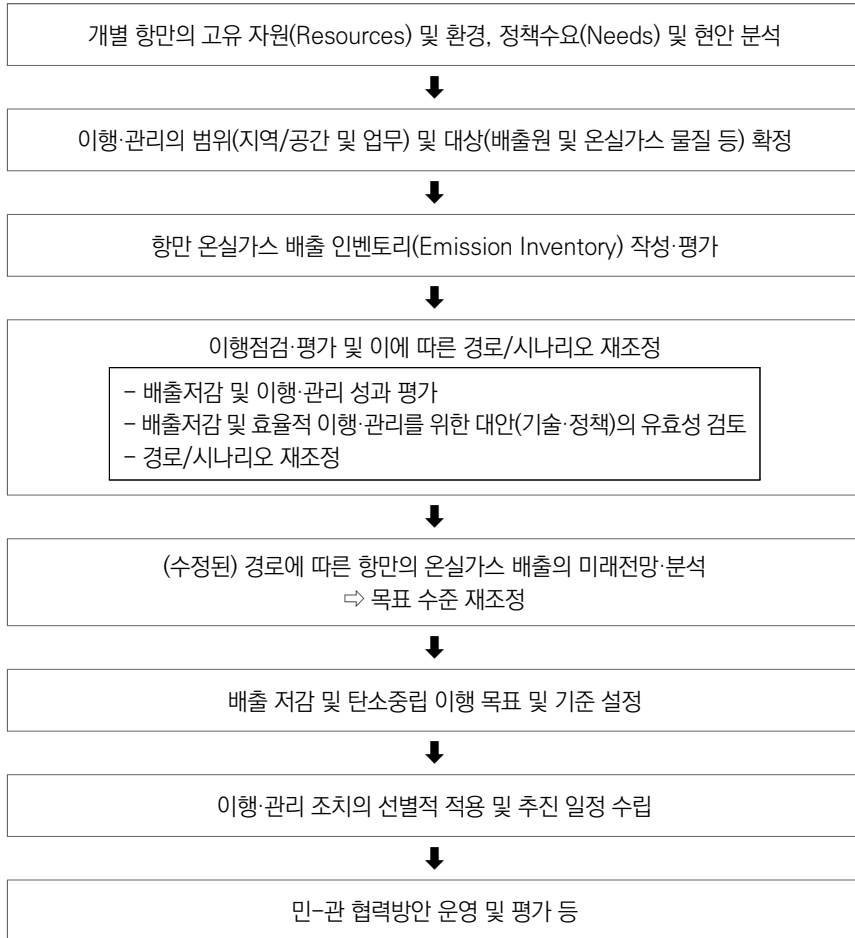
항만의 탄소중립 이행·관리전략은 다음과 같은 내용을 필수적으로 포함해야 한다. 개별 항만의 고유 환경 및 자원 특성을 고려하여 ① 탄소중립 이행·관리의 범위(물리적 범위 및 업무경계) 및 대상(배출원 및 대상 온실가스 종류 등)을 명확하게 규정하고, ② 항만의 온실가스 배출 인벤토리(Emission Inventory) 작성 및 배출 측정 등을 포함하는 모니터링 결과(배출현황 및 특성, 미래 배출 전망 등)와 제도 환경의 변화에 따른 정책 수요에 부합하는 분석을 제공하는 한편, ③ 배출 저감 또는 이를 위한 에너지 전환·믹스 등의 목표 및 기준을 설정하고, ④ 해당 항만의 제반 여건을 고려한 이행·관리 조치의 선별적 적용·추진 일정을 제시해야 한다. 또한, ⑤ 이행·관리활동의 운영 점검 및 성과평가, 그 결과에 따른 목표 및 전략의 재조정이 필요하며, ⑥ 상기 요구활동의 효과적 이행을 위한 정부 및 산업계, 지역사회 등의 민관 협력방안 등을 제시해야 한다.

〈표 4-6〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-2. 이행·관리전략 수립

유 형	활 동	지표 항목
이행·관리전략 수립	항만 탄소중립 이행·관리전략 수립	• 개별 항만별 전략 수립 - 이행·관리 범위·대상 규정 - 항만 온실가스 배출원 현황 - 항만 온실가스 배출 현황, 전망 - 배출저감 및 에너지 전환 방안 및 목표, 기준 설정 - 추진전략, 일정 - 이행점검·평가 및 반영
	관리·운영체계 구축	• 항만 탄소중립 관리 전담 업무/조직, 일원화 • 민관 협력체계 구축

자료: 저자 작성

〈그림 4-1〉 향만 탄소중립 이행·관리전략의 수립 과정



자료: 안용성 외(2020), p. 148 내용을 수정하여 저자 작성

3) 이행점검 및 결과반영

항만의 탄소중립을 위한 이행점검은 개별 항만의 탄소중립 구현을 위한 경로 및 시나리오에 따른 이행·관리 성과에 대한 평가, 그리고 이를 바탕으로 시나리오 및 이에 따른 목표 및 전략의 수정을 통해 중간 지점인 2030년을 넘어 2050년까지 장기간 이행·관리의 효율성을 제고하기 위한 방안이라고 할 수 있다. 이 과정에서, 이행점검의 결과를 수시로 반영함으로써 전략의 실효성을 제고하는 동시에, 과학기술 및 이와 연계된 정책 등의 발전에 따른 적용 가능성 및 유효성을 지속적으로 검토하여야 한다. 이창훈 외(2021)는 현재 상용화되었으나 지속적으로 발전하고 있는 기술 또는 상용화되지 않은 기술 중 탄소중립 핵심기술을 아래와 같이 제시하였다.¹²⁹⁾

〈표 4-7〉 현재 기준 탄소중립 핵심기술

구 분	내 용
배터리	전기자동차 배터리, 전력 저장장치
재생에너지	고효율 저비용 태양광, (부유식) 해상풍력
계통 유연화	가상관성 등
수소환원 제철	-
탄소 포집, 저장 및 이용	탄화수소 합성 기술 등
수소 생산, 저장 및 수송	암모니아 전환 및 재추출 기술 포함
수소 이용	수소 모빌리티, 수소 터빈
대기 중 탄소 직접 포집(DAC)	-

자료: 이창훈 외(2021), p. 105 내용을 저자가 표로 재편집

이와 같이 이행점검은 이행·관리활동의 성과평가는 물론, 사회·제도 및 기술 환경 변화에 따른 기존 경로 및 대안에 대한 유효성을 검토·반영함으로써, 기존 목표 대비 성과의 이행 정도의 평가에 국한하기보다 ‘앞으로 ①

129) 이창훈 외(2021), p. 105.

기존 경로 및 시나리오 및 ② 이에 따른 전략의 방향, 내용, 이를 위한 방법론 등은 그대로 유지해야 할지 또는 수정·보완하거나 새로운 패러다임으로 전환해야 할지'를 판단할 수 있는 주요 근거를 제공하게 된다.

〈표 4-8〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 1-3. 이행점검 및 결과반영

유형	개념
이행점검 및 결과반영	• 항만의 탄소중립 구현을 위한 경로 및 시나리오에 따른 이행·관리 성과에 대한 평가, 시나리오 및 이에 따른 목표 및 전략의 수정을 통해 2050년까지 장기간 이행·관리의 효율성을 제고하기 위한 방안 - 배출저감 및 이행·관리 성과 평가 - 배출저감 및 효율적 이행·관리를 위한 대안(기술·정책)의 유효성 검토 - 경로/시나리오 재조정

자료: 저자 작성

항만의 2050년 탄소중립 구현을 위해서는, 정해진 목표와 이를 이행하기 위한 계획의 수립 등 단순한 기획 방식에 제도적 역량을 집중하기보다는 '2050년까지 탄소중립 구현'이라는 목표를 달성하기 위한 주요 지표를 설정하고, 이에 따라서 전략 및 계획의 이행 정도를 평가하는 한편, 주요 기술의 발전 및 환경 변화 등을 반영하여 전략 및 목표를 주기적으로 수정·보완할 필요가 있다. 이는 탄소중립이라는 화두가 기존의 환경정책 패러다임과는 달리, 이미 정해진 장기적 일정에서 매우 극적인 목표를 달성해야 하는 현재의 주어진 조건에서 이를 구현해야 하는 기술·정책적 대안의 불확실성이 매우 큰 상황이기 때문이다.

탄소중립 이행점검체계 구축을 위한 기초 연구성과를 제시한 이창훈 외(2021)는 온실가스 감축을 위한 2030 로드맵과는 별도로 2050년 탄소중립 구현을 위한 시나리오의 이행 가능성을 주기적으로 평가하고, 이를 다시 시나리오 및 정책의 수정에 반영하는 방식이 요구된다고 지적하고 있다.¹³⁰⁾ 이는 수시적 수정·보완을 위한 '이행점검'으로, ① 시나리오에 따른 국가 및

130) 이창훈 외(2021), p. 2.

부문별 감축 목표에 대한 배출량 감축 실적 평가, ② 전년도 이행점검을 통해 제안된 정책수단의 이행 수준 평가에 더하여, ③ 현재 기준에서 불확실한 탄소중립 기술의 개발 수준과 투입비용 전부를 매년 주기적으로 분석하여 이를 중장기 전략에 다시 반영하는 방식으로 요약할 수 있다.¹³¹⁾

따라서, ① 지표별 기존 목표 대비 이행의 성과정도 및 2030-2050 구현 가능성, ② 기술·제도적 환경의 변화에 따른 기술·정책적 대안의 유효성 등을 1년 혹은 단기의 주기적으로 점검·평가함으로써, 항만의 2050 탄소중립 구현을 위한 이행경로 및 목표 등을 주기적으로 점검·보완하고 나아가 이를 반영할 수 있는 이행점검·평가체계를 구축할 필요가 있다.

〈표 4-9〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 1-3. 이행점검 및 결과반영

유형	활동	지표 항목
이행점검 및 결과반영	이행점검·평가 및 반영	• 이행점검·평가 - 이행정도, 성과평가 - 2030-2050 구현 가능성 검토 - 기술·정책적 대안의 유효성 검토
		• 이행경로 및 목표, 기준 재조정 → 이행·관리전략 수정 반영

자료: 저자 작성

131) 이창훈 외(2021), pp. 104-105.

2. 항만의 배출 저감·관리

1) 배출 저감·관리(직접)

항만 탄소중립 구현을 위한 배출 저감·관리활동은 항만의 각종 활동으로 인한 온실가스의 ‘배출’을 1차적으로 최소화하거나 방지하는 개념으로, 탄소중립의 구현에 가장 직접적으로, 그리고 실제적으로 기여할 수 있는 활동으로 이해할 수 있다. 이 과정에서 항만의 배출원별 배출 특성을 올바르게 이해하고, 이를 바탕으로 현시점에서 적용할 수 있는 가장 최적의 저감 또는 방지 방안을 마련·적용해야 한다.

이는 기본적으로 ① 항만의 주요 배출원의 온실가스 배출을 저감하기 위한 각종 기술 및 정책적 조치를 도입·적용하거나, ② 이를 위한 저탄소 또는 배출 제로 개념의 에너지 전환, 또는 ③ 기존의 방식보다 고효율의 성과를 기대할 수 있는 대안기술의 개발·적용 등의 활동으로 구분할 수 있다.

〈표 4-10〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-1. 배출 저감·관리(직접)

유형	개념
배출 저감·관리 (직접)	• 항만 활동으로 인한 온실가스의 ‘배출’을 최소화하거나 방지하는 개념으로, 항만의 배출원별 배출을 저감·방지하기 위한 방안을 마련·적용 - 주요 배출원의 온실가스 배출을 저감하기 위한 각종 기술·정책적 조치 도입·적용 - 저탄소 또는 배출제로 개념의 에너지 전환 - 대안기술의 개발·적용

자료: 저자 작성

항만의 배출원은 크게 선박, 하역장비, 화물트럭 등의 자동차, 기타 항만 시설물 정도로 요약할 수 있으며, 탄소중립을 구현하기 위해서는 궁극적으로 이들의 배출을 저탄소 또는 배출 제로 개념의 방식으로 전환해야 한다.

항만의 배출원 중 가장 큰 배출 비중을 차지하는 선박의 경우, ① 항만 진출입 시 배출을 저감하기 위한 선박 속도저감(VSR) 조치, ② 저탄소 또는 배출 제로 개념의 에너지 전환, ③ 정박 중 배출을 원천적으로 저감·방지하기 위한 육상전원 사용 또는 ④ 그 외의 대안기술 등을 적용할 수 있다.

항만의 하역 및 이송 등을 위한 하역장비에 대해서는, 노후장비를 대기 오염물질 및 온실가스의 저배출 또는 배출 제로 개념의 친환경 에너지 구동방식의 새로운 장비로 교체하는 방안이 이에 해당한다.

항만을 출입하는 자동차, 즉 도로 이동오염원(자동차)은 일반적으로 육상의 자동차 배출관리 분야에서 통합 관리되고 있으며, 대기오염물질 배출관리 측면에서 규제 수준의 강화에 대한 논의가 이미 충분히 이루어지고 있다.¹³²⁾ 하지만 항만 내 배출관리의 측면에서, 항만 차원의 ① 출입차량의 관리를 위한 등록제도, ② 노후 경유 자동차에 대한 출입 제한과 함께, 이를 위한 ③ 항만 화물 운송업체와의 협력체계 구축 등이 필요하다. 이와 관련하여, 미국 캘리포니아의 롱비치 및 LA 항만당국의 ‘클린트럭 프로그램(Clean Truck Programme)’ 특히, 항만 차원의 관리를 위해 이를 항만 화물 운송 라이선스의 협약 사항으로 연계한 사례를 참조할 수 있다.

이와 더불어, 배출 저감 또는 방지를 위한 기존의 기술적 방법론 대비 고효율 성과를 기대할 수 있는 새로운 기술, 그리고 기존의 방식을 사용할 수 없는 경우에 보완적으로 적용 가능한 대안적 기술을 개발·적용하기 위한 노력이 필요하다. 항만 내에서 이루어지는 활동, 그리고 이들 활동에 특화된 장비의 특수성을 감안하여, 항만 차원의 대안기술 개발·도입을 위한 별도의 프로그램을 구성하고, 이를 수행하기 위한 지속적인 재원 마련 작업 역시 필수적으로 요구된다.

132) 안용성 외(2020), p. 176.

〈표 4-11〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-1. 배출 저감·관리(직접)

유형	활동	지표 항목
배출 저감·관리 (직접)	선박 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 선박 속도저감(VSR) 조치 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지 전환 - 육상전원 공급 사용
	하역장비 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후장비 교체 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지 전환
	진출입 자동차 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후 화물트럭 진출입 제한 - 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지 전환
	기타 시설물 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후장비·시설 교체 - 배출제로 개념의 친환경 에너지 전환
	대안기술의 적용	• 대안기술 선도 프로그램, 펀드

자료: 저자 작성

2) 배출 저감·관리(간접)

항만의 배출을 직접 저감하거나 방지하는 방안 외에도, ① 하역 및 이송·운송 과정의 에너지 효율을 개선하거나, ② 항만의 기존 에너지 수요를 신재생 에너지 기반의 에너지 생산·공급 등으로 충족시킴으로써, 결과적으로 항만 활동으로 인한 배출을 저감할 수 있다.

〈표 4-12〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의: 2-2. 배출 저감·관리(간접)

유형	개념
배출 저감·관리 (간접)	• 항만의 배출을 직접 저감하거나 방지하는 방안 외에, 결과적으로 항만의 배출을 저감하기 위한 2차적 방안 및 인프라 구축, 활용 - 자동화, 최적화 등을 통한 하역 및 이송·운송 과정의 에너지 효율 개선 - 신재생 에너지 기반 에너지 생산·공급 연계로 항만의 에너지 수요 대응 - 이산화탄소 포집 및 활용; 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급

자료: 저자 작성

이는 항만 활동의 자동화, 최적화 또는 하역 및 운송 단계의 순서 또는 물리적 구조 배치의 재조정 등으로 구현 가능하다. 우선 ‘트럭 방문 사전고지 시스템(Pre-announcement of Truck visit)’ 등의 방식으로 화물트럭의 운행 및 배차 등을 조정하여 항만 내 이동 및 운송의 효율성을 개선하고, 나아가 빅데이터 기반의 차량 관리 시스템 또는 최근 활발하게 도입이 논의되고 있는 집단 자율주행 기술 등을 적용하여 에너지 효율을 개선함으로써 배출 역시 저감할 수 있다.¹³³⁾

이와 같은 개념은 하역 및 운송·이송 과정에도 적용이 가능하다. 해당 과정의 자동화를 통한 최적화를 도모함으로써, 에너지 효율을 개선할 수 있으며, 이는 네덜란드 로테르담항(Port of Rotterdam)이 터미널 자동화 사업의 일환으로 도입·운영 중인 컨테이너 부두의 옥외 이송시스템의 자율주행, 같은 항만 내 ECT Della Sealand 터미널의 부두 내 안벽 크레인과 야드 크레인 사이의 컨테이너 이송을 위한 AGV(Automated Guided Vehicle) 도입 사례 역시 참조할 수 있다.¹³⁴⁾ 나아가, 하역 및 운송 단계의 순서 또는 부두 및 관련 인프라의 물리적 구조 배치 등을 재조정하거나, 이를 항만 내 물류 디지털트윈 등 스마트 플랫폼과 연동하여 역시 최적화를 도모할 수 있다.

또한, 항만 배출의 경계 구분 기준 중 ‘Scope 2’ 즉, 구매 전력의 사용으로 인한 온실가스의 간접 배출을 저감하기 위한 방안으로, 신재생 에너지 기반의 항만 마이크로 그리드를 구축함으로써 항만 내 에너지 수요에 대응하는 생산-저장-소비 구조를 구축할 수 있다. 이 과정에서 항만 내 에너지 이용효율을 극대화하기 위한 ‘스마트 그리드’ 기술 역시 이와 연계하여 그 효율을 극대화할 수 있다.

133) 안용성 외(2020), p. 179.

134) 안용성 외(2020), p. 183.

〈표 4-13〉 항만 탄소중립 이행·관리활동의 구분: 2-2. 배출 저감·관리(간접)

유 형	활 동	지표 항목
배출 저감·관리 (간접)	항만 내 하역·이송·운송 과정의 최적화	• 하역·운송과정 조정·효율화 - 항만 내 하역, 운송 단계의 순서, 부두시설 및 인프라 등 물리적 구조 배치의 재조정 - 하역, 운송·이송 자동화, 최적화 • 화물트럭 운행 조정·효율화 - 화물트럭 운행, 배차 등을 조정, 최적화
	항만 스마트-마이크로 그리드 구축, 운용	• 신재생 에너지 기반 에너지 자립 • 항만 내 마이크로 그리드 구축 및 연계방안 마련 • 스마트-마이크로 그리드 구축
	이산화탄소 포집 및 활용	• 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급 • 탄소 포집 및 저장 기술 개발; 대기오염물질과 연계

자료: 저자 작성

3. 종합

〈표 4-14〉 항만 탄소중립 이행·관리 유형별 개념 정의(종합)

구분	유형	개념
항만 탄소중립 이행·관리체계 구축	배출 모니터링	- 항만 활동으로 인한 온실가스 배출의 규모 및 양상, 특성 등을 명확하게 파악하기 위한 과정 - 배출 인벤토리 작성을 위한 배출원별 현황, 활동 데이터 등 수집 - 해당 항만의 온실가스 배출 인벤토리 작성 - 산정결과 정확도 보정·개선 위한 실제 배출 측정 등
	이행·관리전략 수립	- 국내외 관련 규범의 준수를 넘어서 개별 항만의 실질적 탄소중립 구현을 위한 체계적 이행·관리 방안 마련 - 온실가스 배출 인벤토리를 바탕으로, 항만의 미래 배출 전망 및 분석 - 문제점 및 관련 현안 구체화; 이에 대한 유효 기술·정책적 조치 선별, 도입·적용 우선순위 도출 - 목표수준 및 추진 일정 제시; 추후 환경 변화 및 이행점검 결과 등에 따른 재조정 - 효과적 이행을 위한 업무·조직 체계의 구성 또는 정비
	이행점검 및 결과반영	- 항만의 탄소중립 구현을 위한 경로 및 시나리오에 따른 이행·관리 성과에 대한 평가, 시나리오 및 이에 따른 목표 및 전략의 수정을 통해 2050년까지 장기간 이행·관리의 효율성을 제고하기 위한 방안 - 배출저감 및 이행·관리 성과 평가 - 배출저감 및 효율적 이행·관리를 위한 대안(기술·정책)의 유효성 검토 - 경로/시나리오 재조정
항만의 배출저감·관리	배출 저감·관리 (직접)	- 항만 활동으로 인한 온실가스의 '배출'을 최소화하거나 방지하는 개념으로, 항만의 배출원별 배출을 저감·방지하기 위한 방안을 마련·적용 - 주요 배출원의 온실가스 배출을 저감하기 위한 각종 기술·정책적 조치 도입·적용 - 저탄소 또는 배출제로 개념의 에너지 전환 - 대안기술의 개발·적용
	배출 저감·관리 (간접)	- 항만의 배출을 직접 저감하거나 방지하는 방안 외에, 항만의 배출을 저감하기 위한 2차적 방안 및 인프라 구축, 활용 - 자동화, 최적화 등을 통한 하역 및 이송·운송 과정의 에너지 효율 개선 - 신재생 에너지 기반 에너지 생산·공급 연계로 항만의 에너지 수요 대응 - 이산화탄소 포집 및 활용; 포집 탄소를 활용한 재생에너지 공급

자료: 저자 작성

〈표 4-15〉 항만 탄소중립 이행·관리활동 유형의 구분(종합)

구분	유형	활 동	지표 항목
항만 탄소중립 이행·관리체계 구축	배출 모니터링	항만 온실가스 배출원 조사	• 관리 범위·대상 규정 • 항만 온실가스 배출원 조사
		항만 온실가스 배출 인벤토리 작성	• 항만 온실가스 배출 인벤토리 작성 및 평가 • 주요 배출원 배출실태조사 (배출 측정)
	이행·관리전략 수립	항만 탄소중립 이행·관리전략 수립	• 개별 항만별 전략 수립 － 이행·관리 범위·대상 규정 － 항만 온실가스 배출원 현황 － 항만 온실가스 배출 현황, 전망 － 배출저감 및 에너지 전환 방안 및 목표, 기준 설정 － 추진전략, 일정 － 이행점검·평가 및 반영
		관리·운영체계 구축	• 항만 탄소중립 관리 전담 업무/조직, 일원화 • 민간 협력체계 구축
	이행점검 및 결과반영	이행점검·평가 및 반영	• 이행점검·평가 － 이행정도, 성과평가 － 2030-2050 구현 가능성 검토 － 기술·정책적 대안의 유효성 검토
			• 이행경로 및 목표, 기준 재조정 → 이행·관리전략 수정 반영
	항만의 배출저감·관리	배출 저감· 관리(직접)	선박 배출 저감·관리
하역장비 배출 저감·관리			• 배출 저감조치(직접) － 노후장비 교체 － 저탄소·배출제로 개념의 친환경 에너지 전환
진출입 자동차 배출 저감·관리			• 배출 저감조치(직접) － 노후 화물트럭 진출입 제한

구 분	유 형	활 동	지표 항목
		기타 시설물 배출 저감·관리	• 배출 저감조치(직접) - 노후장비·시설 교체 - 배출제로 개념의 친환경 에너지 전환
		대안기술의 적용	• 대안기술 선도 프로그램, 펀드
	배출 저감· 관리(간접)	항만 내 하역·이송· 운송 과정의 최적화	• 하역·운송과정 조정·효율화 - 항만 내 하역, 운송 단계의 순서, 부두시설 및 인프라 등 물리적 구조 배치의 재조정 - 하역, 운송·이송 자동화, 최적화 • 화물트럭 운행 조정·효율화 - 화물트럭 운행, 배차 등을 조정, 최적화
		항만 스마트-마이크로 그리드 구축, 운용	• 신재생 에너지 기반 에너지 자립 • 항만 내 마이크로 그리드 구축 및 연계방안 마련 • 스마트-마이크로 그리드 구축

자료: 저자 작성

제3절 도입·활용방안

제4장에서는 앞서 항만의 탄소중립과 관련한 국내외 주요 사례의 심층 분석을 통해 도출한 ‘항만 탄소중립 구현을 위한 요구활동’의 식별 결과를 바탕으로, 우리 항만의 현실에 부합하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 제시하였다.

다음에서는 제시한 표준안의 도입·활용, 나아가 이를 통해 개별 항만이 날로 강화되어가고 있는 국내외 규범에 대응하는 한편, 궁극적으로 장기적 목표인 항만의 탄소중립 구현을 효과적으로 실현하기 위한 방안을 정리하였다.

1. 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련

현재 대부분의 국가가 목표로 설정하고 있는 ‘2050년까지 탄소중립 실현’은 매우 공격적인 목표로, 조금 더 정확하게 표현하면 현재의 기술 수준에서는 달성 불가능한 수준으로 평가되고 있다. 이처럼 기술의 발전을 가정하고, 이러한 기술을 활용한 목표 수준의 달성을 기대하는 장기전략의 특성상, 장기적인 기간 중 발생할 수 있는 여러 사회경제적 외부요인 변수 외에도, 이를 구현하기 위한 기술 및 정책적 방법론의 불확실성은 매우 큰 위험요인이라고 할 수 있다. 이를 이행해야 하는 항만에서의 상황 역시 이보다 더 낫지 않다. 장기적인 기간에 걸쳐서 어려운 수준의 목표를 달성하기 위한 매우 체계적인 접근이 요구되는 시점인 것이다.

따라서, 이러한 위험요인을 회피하고 항만의 탄소중립 이행·관리를 건실하게 추진하기 위해서는, 정교한 메커니즘에 의한 전략의 수립, 그리고 기

술 및 제도환경 등의 변화에 따른 감축경로 및 시나리오의 수정, 이에 따른 전략의 수정·보완, 심지어 사안의 정도에 따라서는 패러다임을 전환함으로써 전략의 실효성을 제고할 필요가 있다.

이 과정에서, 국가 차원에서 항만의 탄소중립 구현을 위해 요구되는 이행·관리활동의 표준안, 그리고 배출량 산정, 주요 배출원별 배출 저감·방지를 위해 적용 가능한 최신의 주요 방법론에 대한 지침 정도를 제공할 필요가 있다. 개별 항만은 이를 바탕으로 ① 일정한 기준에 따른 항만 경계 내의 배출원 현황 및 이들의 활동에 따른 배출 인벤토리를 작성하고, ② 이행점검 및 핵심기술의 발전 정도에 따른 유효성 검토 결과를 반영한 온실가스 배출저감 경로 및 시나리오 수정, 이에 따른 ③ 온실가스 배출량 및 감축량 추정 및 미래 전망·분석, 다시 이에 따른 ④ 이행·관리 지표 및 목표의 설정 또는 재조정, 이를 달성하기 위한 ⑤ 이행·관리 유형 및 세부활동의 추진 전략 및 일정을 포함하는 개별 전략을 수립할 수 있다.¹³⁵⁾ 따라서, 본 연구에서 제시한 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’은 국가 차원의 가이드가 마련되지 못한 상황에서 이를 위해 활용할 수 있는 유용한 도구라고 할 수 있다.

〈표 4-16〉 도입·활용방안: 항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련

구 분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
항만의 탄소중립 이행·관리전략 마련	- 장기전략의 특성상 기술·제도 환경의 변화, 기술의 발전 또는 패러다임 자체의 변경 등의 불확실성 증대 → 불확실성으로 인한 위험요인 회피, 이행·관리활동의 효과 제고를 위한 체계적인 접근 필요	- 국가 차원에서 ① 항만의 탄소중립 이행·관리활동의 표준안 개발 ② 배출량 산정, 주요 배출원별 배출 저감·방지를 위해 적용 가능한 최신 주요 방법론에 대한 지침 제공 - 개별 항만은 이를 바탕으로 ① 일정한 기준에 따른 항만 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 ② 이행점검 및 핵심기술의 유효성

135) 본 보고서 pp. 97-100 참조

구 분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
		검토결과를 반영한 온실가스 배출 저감 경로 및 시나리오 수정 ③ 온실가스 배출량 및 감축량 추정 및 미래 전망·분석 ④ 이행·관리 지표 및 목표의 설정 또는 재조정 ⑤ 이행·관리 유형 및 세부활동의 추진 전략 및 일정 등을 포함하는 개별 전략 수립, 이행

자료: 저자 작성

2. 이행점검 체계 개발 및 적용

앞서 살펴본 바와 같이, 정교한 이행·관리전략에 의한 체계적인 접근은 불확실성에 기반한 위험요인을 회피하는 방식으로 현실과 전략 간의 괴리를 최소화하는 동시에, 전략 내용의 실효성을 구득할 수 있다. 이러한 맥락에서 ‘이행 점검 및 그 결과의 반영’은 기존 전략의 유효성을 검증하는 동시에, 앞으로 나아가야 할 방향을 설정하는 데에 있어 필수적인 과정이라 할 수 있다.

‘이행점검’은 전략 수립 당시에 도출한 기존 경로 및 시나리오에 따른 지표별 목표의 달성여부 또는 그 정도를 평가하고, 사회·제도 환경 변화와 관련 기술의 발전에 따른 시나리오의 수정, 이에 따른 지표 및 목표의 수정·보완의 필요성을 검증하는 과정으로 정의할 수 있다. 항만의 탄소중립 구현을 위한 이행·관리 측면에서는, ‘온실가스의 배출’을 가장 중요한 측정지표로 설정할 수 있으며, 이를 저감·방지하기 위한 기술 또는 정책적 방법론의 적용을 위한 세부 이행·관리 지표들을 구체화할 수 있다.

따라서, 항만의 탄소중립 이행·관리전략 수립을 위한 이행점검은, ① 기존 전략에 따른 이행·관리 지표별 성과평가, 그리고 이에 따른 ② 온실가스 배출의 감축실적에 대한 평가에 이어, ③ 사회·제도 환경 변화와 관련 기술의 발전에 따른 기존 이행·관리 지표의 유효성 검토, 그리고 이에 따른 지표 및 목표 수준의 변경 필요성 검토, ④ 차기 전략에 반영이 필요한 변경·개선 사항의 도출 정도로 요약할 수 있다. 이를 통해, 지표별 이행성과 및 실제 이행과정에서 나타날 수 있는 문제점 등에 대한 해결방안을 도출·반영하는 선순환 구조를 확립할 수 있으며, 동시에 전략 자체의 실효성을 지속적으로 갱신할 수 있다.

〈표 4-17〉 도입·활용방안: 이행점검 체계 개발 및 적용

구 분	기존 한계 및 문제점	도입·활용을 통한 개선방안
이행점검 체계 개발 및 적용	- 장기전략의 특성상 기술·제도 환경의 변화, 기술의 발전 또는 패러다임 자체의 변경 등의 불확실성 증대 → 현실과 전략 간의 괴리를 최소화함으로써 실효성 있는 전략 수립·변경을 위한 '이행 점검 및 반영' 체계 개발 필요	- 항만의 탄소중립 이행·관리전략 수립을 위한 이행점검의 지표 및 '수시 평가·반영' 체계 구축 ① 기존 전략에 따른 이행·관리 지표별 성과평가 ② 온실가스 배출의 감축실적 평가 ③ 기존 이행·관리 지표의 유효성 검토; 이에 따른 지표 및 목표 수준의 변경 필요성 검토 ④ 차기 전략에 반영이 필요한 변경·개선 사항의 도출

자료: 저자 작성

05

결론

제1절 결론

지구의 온난화, 이로 인한 지구 환경의 지속 가능성의 저해에 대한 경각심이 증대됨에 따라서, 이로 인한 피해를 저감하기 위한 탄소중립 패러다임 전환이 전 지구적인 스케일로 진행되고 있다. 이에 따라, 전통적인 고탄소 산업구조 기반 산업 중 하나였던 국내 해운 및 국내외 해운활동의 거점인 항만 부문에 대한 저탄소 전환 요구 역시 가중되고 있다.

항만의 탄소중립 이행·관리활동은 궁극적으로 ‘항만의 온실가스 배출을 저감하거나, 궁극적으로는 원천적으로 방지하는 배출 제로 개념으로 전환함으로써, 전 지구적인 온난화 수준을 낮추는 데’에 목표를 두고 수행되어야 하며, 이러한 과정에서 날로 강화되고 있는 국내외 관련 법령 및 규제 역시 자연스럽게 준수·이행이 가능하다. 현재의 기술 수준으로 실현할 수 없는 목표를 달성해야 하는 조건에서, 항만 탄소중립의 개별 이행주체인 항만당국 또는 관할 지방자치단체, 그리고 다양한 항만 활동을 영위하고 있는 산업계는 기술적으로 준비가 완전하지 않은 상황에서, 현재 시행이 확정되거나 예정된 규제에 대응하기 위하여 기술 및 정책의 불확실성에 대한 리스크를 감수해야 하는 입장이다.

이들이 국내외 탄소중립 이행 압력에 효과적으로 대응하기 위해서는, 우선 주요 이행주체 및 이해관계그룹이 탄소중립, 나아가 항만의 탄소중립의 개념을 올바르게 이해하고 이를 구현하기 위해 필수적으로 요구되는 주요 방법론 및 효과적 적용방안, 또는 주요 방법론 간 연계 효과에 대한 충분한 정보가 필요하다. 이를 바탕으로 각자 주어진 환경 및 조건에 부합하는 최선의 선택, 결정을 할 수 있도록 ‘국내 항만의 탄소중립’ 이행을 위한 일관성 있는 가이드라인이 필요한 시점인 것이다.

이에, 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 요구되는 ① 국내 항만의 이행·관리활동의 개념 및 적용 기준 및 원칙 등을 정립하고, 이들을 유형에 따른 분류체계로 구분하여 활용하기 용이한 형태의 표준(안)을 제시하는 한편, ② 추후 활동별 이행·관리성과를 점검·평가하기 위한 핵심 지표항목을 도출하고, 마지막으로 ③ 이들의 효과적인 도입 및 활용방안을 제시하고자 하였다.

이를 위해, 제2장에서는 탄소중립의 개념을 규정하고, 이에 따른 이행사항을 요구하는 국내외 주요 규범의 현황을 면밀히 조사하고, 목표 수준 및 기준, 요구사항 등의 키워드별 분류에 따른 비교분석을 수행하였다. 이를 통해 현재 추진 중인 ‘탄소중립’의 개념 및 원리, 이에 따른 방향성 등을 정리하고, 이를 바탕으로 개별 항만에 요구되는 ‘항만 탄소중립’의 개념 및 이행·관리 목표 및 수준, 이행 전략 수립 시 고려 사항 등을 구체화하였다. 또한 이 과정에서, 최근 유사한 영역에서 역시 공격적으로 진행되고 있는 항만 대기환경 관리와의 연계성을 검토하였다.

제3장에서는 국제기구 및 주요 국가의 관련 지침, 국내외 주요 항만의 이행사례를 조사·검토하여, 제2장에서 구체화한 ‘항만 탄소중립’의 구현을 위해 필수적으로 요구되는 이행·관리활동 요소를 식별·분류하였다. 또한, 이들 활동요소의 속성에 따른 유형(① 배출 모니터링, ② 이행·관리전략 수

립, ③ 이행점검 및 결과반영, ④ 배출 저감·관리(직접), ⑤ 배출 저감·관리(자동화, 최적화, 에너지 그리드 구축·활용 등)) 구분으로 표준(안)의 체계를 도출하였다.

제4장에서는 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 제시하였다. 우선, 항만의 탄소중립 구현을 위해 요구되는 활동요소와 이들의 속성 구분에 따른 유형별 개념을 정의하고, 주요 방법론의 적용 원리, 유형 및 활동별 핵심 지표 항목 등을 제시하여 추후 활용이 용이한 지침의 형태로 정리하였다. 또한, 이를 도입·활용하기 위한 정책방안을 ① 항만의 탄소중립 이행·관리 전략 마련, ② 이행점검 체계 개발 및 적용의 측면에서 구체적으로 제시하였다.

제5장에서는 본 결론과 함께, 본 연구의 성과인 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’을 활용한 탄소중립 정책의 추진 방향 및 이를 위한 제안사항을 주요 추진과제와 함께 제시하였다.

제2절 정책 제언

1. 항만 탄소중립 이행·관리체계의 구축

최근 전 사회적인 탄소중립 목표와 기한은 명확하게 정해진 반면, 이를 구현하기 위한 기술 및 정책적 대안은 충분히 준비되지 못한 현실은 현재 사회 전 분야의 탄소중립 추진을 위한 제반 활동에 불확실성으로 작용하고 있다. 항만 역시 주어진 상황은 크게 다르지 않다. 하지만, 다양한 산업활동이 교차적으로 이루어지는 항만에서는 그만큼 다양한 배출원, 이들의 다양한 배출 특성이 나타나고 있기 때문에, 항만의 탄소중립 구현을 위한 이행·관리활동은 매우 정교하면서도 체계적인 접근에 기반해야 한다.

이는 국내 항만의 탄소중립 이행여건을 충실하게 반영하는 ‘항만 탄소중립 이행·관리전략’을 중심으로, ① 기초 근거자료 확보를 위한 배출 모니터링, 즉 항만의 배출원 조사 및 배출 인벤토리 작성, ② 전략의 방향 및 목표 수준 등을 결정하기 위한 이행점검 및 평가, ③ 이를 반영하는 정책 환류구조의 구축, ④ 다양한 이해관계그룹의 협력을 도모하기 위한 민·관 협력구조의 구축에 이어, ⑤ 정해진 전략사항에 따른 업무의 효과적 이행을 위한 업무·조직 체계의 구성 또는 정비를 통해 추진할 수 있다.

〈표 5-1〉 주요 추진과제: 이행·관리체계의 구축(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’ 개발 → 개별 항만의 ‘항만 탄소중립 이행·관리전략’ 수립: 기존 전략의 목표, 기준 재조정 → ‘해양수산 탄소중립 로드맵’ 수정·보완 추진 • ‘항만 탄소중립 이행·관리활동 표준체계’ 개발, 적용 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 유관부서 협의·공조 필요

추진 사항	추진 주체
• '항만 탄소중립 이행점검 표준체계' 개발, 적용 → '항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침'에 포함 → 매년/수시 평가 수행(업데이트), 결과 반영	
• 지방자치단체-항만공사-지방해수청의 '공공부문 항만 탄소중립 공동대응체계' 구축, 운영	지방해양수산청, 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진
• 항만 탄소중립 추진을 위한 민-관 협력 프로그램 구축, 운영	해양수산부 해양환경정책과 등 (국가 차원) 관할 지방자치단체, 항만공사 등 공동 추진(개별 항만/권역별)

자료: 저자 작성

2. 배출 모니터링 강화

항만의 배출은 항만 탄소중립 정책활동의 가장 주된 관리 대상이며, 따라서 이행·관리 성과를 평가하는 지표 역시 배출량 및 감축량을 기본으로 구성하게 된다. 따라서, 항만의 탄소중립 구현을 위한 각종 이행·관리활동의 대상 선별, 이들에 대한 최적의 방법론의 적용방안 개발·도입을 위해서는, 선행적으로 항만의 배출원 현황, 이들 배출원의 활동으로 인한 배출 규모 및 양상 등에 대한 정확한 데이터의 수집·산정이 필요하다.

이들 데이터는 항만의 탄소중립 정책의 개발·도입에 있어 가장 기초적인 근거자료로, 항만 탄소중립 정책의 효과를 극대화하기 위해서는 이들의 정확성, 즉 배출원의 실제 활동 및 이로 인한 배출 양상, 특성을 실제와 가깝게 나타내는 데이터를 생산하거나 확보해야 한다. 이는 기본적으로, 항만의 배출원별 운영 현황 및 활동 데이터 등을 수집하기 위한 배출원 조사와, 이를 바탕으로 배출원별 활동에 따른 배출량을 산정하는 배출 인벤토리 작성, 즉 ‘배출 모니터링’ 과정을 통해 확보할 수 있다. 또한, 현재 항만의 배출 통계를 국가 통계의 생산 항목으로 추진 중인 ‘국가 대기오염물질 배출량 통계’ 및 이를 산정하기 위한 작성 지침 등에서 대상 물질을 기존의 대기오염물질 9종에 CO₂ 등 6대 온실가스를 추가하는 방식으로 ‘배출 통계’의 작성 또는 모니터링을 일원화함으로써 행정의 효율성을 제고할 수 있다.

한편, 기존의 대기오염물질 및 온실가스 배출 통계의 본디 작성 목적은 국가 통계 또는 지역 통합 통계 추산을 위한 거시통계 작성에 있기 때문에, 개별 배출원의 활동을 반영하기보다는 해당 배출원의 전체 연료 사용량을 활용하는 하향식 위주의 산정방식으로 전체 배출량을 추정하고 있다. 하지만, 최근 대기환경 관리는 물론 탄소중립의 이행을 위한 모니터링 또는 이를 활용하는 분석, 특히 특정 시공간 범위에 대한 분석 수요가 급증하고 있어, 개별 배출원의 활동 양상을 정확하게 반영할 수 있는 고해상도

데이터의 수요 역시 증대되고 있다. 개별 배출원의 배출을 산정하고 이를 합산하는 상향식 개념의 산정 패러다임을 도입함으로써 이러한 수요에 부응할 수 있으나, 이를 위해서는 개별 배출원의 정적 정보 및 동적 정보 역시 시공간적으로 조밀한 간격으로 수집되어야 한다.

하지만, 이러한 요구 수준에 부합하는 고품질의 데이터는 해양수산부 등의 관련 부처 및 항만공사, 또는 관할 지방자치단체 차원에서 단독으로 수집·관리하는 자료뿐 아니라, 유관 기관 또는 민간의 업종별 운영사들이 그들의 업무적 수요에 따라서 이미 수집·생산하고 있는 수많은 기초자료의 연계·공유를 통해서 추진 가능하다.¹³⁶⁾ 따라서, 선박, 하역장비 및 화물트럭 등 배출원의 운용 현황 및 스펙 정보와 같은 정적 정보, 그리고 활동을 추정할 수 있는 동적 정보 또는 연료유 사용정보 등 필수데이터의 수집을 위한 기관 간 연계, 그리고 ‘항만의 대기질 개선’, 또는 ‘탄소중립 이행’을 용도로 명시하여 주기적 조사, 보고 등을 의무화하는 등의 제도적 보완 작업이 필요하다.

〈표 5-2〉 주요 추진과제: 배출 모니터링 강화(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만의 배출 인벤토리 작성 지침 개발 → 「항만 대기질법」에 의한 대기오염물질 배출 인벤토리와 연계, 온실가스를 대상 물질로 추가하여 일원화 → 지침 등 고시, 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등 ※ 해사산업기술과, 항만기술안전과, 항만물류기획과 등 협의·공조 필요 ※ 환경부(국립환경과학원, 온실가스 종합정보센터, 미세먼지 정보센터) 등 관계부처 협의·공조 필요
• 항만별 배출원 조사, 배출 인벤토리 작성 → ‘항만 탄소중립 이행·관리전략 수립 지침’에 포함 → 매년 수행(업데이트): ‘항만 탄소중립 이행점검’에 반영	관할 지방자치단체, 항만공사 공동 ※ 해양수산부 해양환경정책과
• 항만의 배출 모니터링 기초자료 산정을 위한 유관부처/기관 데이터 연계·공유 방안 마련 → 부처 간 연계·공유 의무화: 대기오염물질 관리와 연계하여 「항만 대기질법」 반영, 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 해양수산부, 국토교통부의 관련 산하 기관(KOMSA, KR 등) 협의·공조 필요

자료: 안용성 외(2020), p. 270 내용을 수정하여 저자 재작성

136) 안용성 외(2020), p. 269.

3. 항만 탄소중립 구현을 위한 기술 선도 프로그램 출범

앞서 살펴본 바와 같이, 탄소중립의 이행·관리에 있어서 이를 구현하기 위한 기술 및 정책적 방법론의 불확실성은 장기 목표 달성을 위한 견실한 이행에 주요 장애 요인으로 작용하고 있다. 항만의 탄소중립 구현과 긴밀한 연계성을 가지는 대기오염물질 배출 저감 및 대기질 관리의 경우에도, 항만 활동 특수성 또는 개별 항만의 수요를 반영한 항만 차원의 신기술 또는 새로운 패러다임의 혁신적인 기술을 개발하거나 시범적으로 적용하기보다는 이미 주요 선진 항만 등에서 운용·검증된 기술 및 제품을 도입하는 데에 그치고 있다.¹³⁷⁾ 온실가스를 대상으로 하는 탄소중립 이행 측면에서도 이는 크게 다르지 않은 상황이다.

하지만, 현존 기술의 불확실성이 문제가 되는 현재의 상황에서, 더욱이 이미 결정된 2050년 탄소중립 구현 목표는 현재의 기술 패러다임에서는 실현 불가능한 것으로 평가되고 있기 때문에, 기존의 기술 패러다임을 따라가기보다는 투입 대비 고효율 개념의 대안기술 및 새로운 패러다임 또는 기존 기술을 적용할 수 없는 영역 및 대상에 대한 틈새기술 등을 선도적으로 개발하려는 노력이 필요한 시점이다. 국가 차원에서 또는 개별 항만들의 연합 형태로, 항만의 배출저감 또는 탄소중립의 효율적 이행·관리를 위한 새로운 기술 패러다임, 그리고 이를 실현하기 위한 신기술의 연구·개발, 나아가 이를 검증할 수 있는 ‘항만의 탄소중립 구현을 위한 기술 선도 프로그램(안)’의 출범을 검토할 필요가 있다.¹³⁸⁾

137) 안용성 외(2020), p. 271.

138) 안용성 외(2020), p. 272.

〈표 5-3〉 주요 추진과제: 기술 선도 프로그램 출범(2023년~)

추진 사항	추진 주체
• 항만 탄소중립 선도기술 개발·지원을 위한 재정 확보방안 마련 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과 등
• ‘항만의 탄소중립 구현을 위한 선도기술 프로그램’ 도입·운영 + 항만 탄소중립 구현 기술 분류체계 및 수요조사, 기술 개발·도입 우선 순위 도출 등 → 항만의 대기오염물질 배출관리와 연계, 일원화 → 「항만 대기질법」 개정 추진	해양수산부 해양환경정책과, 항만운영과, 항만기술안전과 등

자료: 안용성 외(2020), p. 272 내용을 수정하여 저자 재작성

제3절 연구의 한계

근래 선박 및 항만의 대기오염물질 배출에 대한 본격 관리 강화에 이어서, 최근에는 ‘2050년’이라는 기한과 ‘탄소중립 구현’이라는 목표 외에 정해진 것이 없는 상황에서 항만 및 해운업계에는 이에 대한 적극적인 이행 압력까지 가중되고 있다. 본 연구는, 항만의 입장에서 장기간에 걸친 이행·관리 작업을 통해 현재의 기술 수준에서는 달성이 어려운 탄소중립을 구현해내기 위해서는 “지금부터 ‘무엇을’, ‘어떻게’ 해야 하는가?”라는 질문에서 시작되었다.

이에, 본 연구는 항만의 탄소중립 구현 및 관련 규범의 이행을 위해 국내 항만에 요구되는 ① 이행·관리활동의 개념 및 이행 추진방향, 적용을 위한 원칙 및 기준 등을 정립하고, 이에 따른 표준(안)을 제시하는 한편, ② 이행전략 수립 시 참고하거나, 추후 활동별 이행점검 과정에서 활용하기 위한 핵심 지표를 도출하고, ③ 이들의 도입 및 활용방안을 제시하였다.

이는, 국제협약 및 이로 인한 국내외 각종 규제 및 법령의 제정 및 시행으로 정부는 물론 주요 이행주체인 지방자치단체 및 항만공사 등에 항만의 탄소중립 구현을 위한 이행정책의 본격 추진이 요구되는 시점에서, 이들이 현시점에서 자신에게 최선 또는 차선의 항만 탄소중립 이행전략의 방향을 설정하고, 이를 바탕으로 정책의 우선순위, 최적의 방법론 등을 선택하여 집중할 수 있는 가이드라인을 구체적으로 제시하였다는 데에 의의가 크다고 할 수 있다.

한편, 본 연구에서 제시한 이행·관리 표준(안)은 현시점을 기준으로 국내 항만의 이행여건 및 환경을 반영한 것으로, 국내외 현안 및 기술의 발전 등 정책환경의 변화를 반영하기 위해서는 주기적인 수정·보완 작업이 요구된다. 본문에서 ‘이행점검’ 및 평가결과 반영의 중요성을 수차례 강조한 바

와 같이, 항만의 탄소중립 구현을 위한 이행전략은 사회·제도적 환경의 변화는 물론 날로 급속하게 진행되고 있는 기술의 발전, 이로 인한 주요 기술의 유효성 변화 등을 수시로 반영함으로써, 이행·관리전략의 실효성을 제고할 수 있다.

또한, 본 연구에서 제시한 ‘항만 탄소중립 이행·관리 표준(안)’은 이행점검 평가체계의 지표별 평가항목으로 이해할 수 있다. 주어진 예산과 짧은 연구기간으로 일단 주요 개별 이행주체에 최초의 가이드라인을 제공하는 선에서 마무리하였으나, 속성 및 지표별 평가항목에 대한 평가모형을 구성하여 본격 ‘이행점검 평가체계’를 개발하기 위한 후속 연구가 시급하다.

참고문헌

국내 문헌

- 관계부처 합동(2020.7.), 「한국판 뉴딜」 종합계획.
- 기획재정부(2020.12.), 미래전략과, 「2050 탄소중립」 추진전략.
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 (약칭: 탄소중립기본법)(2021.9.24. /2022.9.25., 법률 제18469호)
- 김근섭 외(2021), 항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구-부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로-, 한국해양수산개발원.
- 부산항만공사(2022.2.), 부산항 2050 탄소중립 종합계획 수립 용역 설계서.
- 안용성 외(2020), 항만 대기환경 관리표준 및 평가모형 연구, 한국해양수산개발원.
- 오종혁·이효진(2022.1.20.), 중국의 탄소중립 정책 주요 내용 및 전망, KIEP 세계경제 포커스, 5(2), KIEP.
- 윤순진(2021), 한국의 2050 탄소중립 시나리오, 에너지경제연구원.
- 이준서(2021), 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법의 제정 의의와 그 이행을 위한 향후 과제, 환경법연구, 43(3).
- 이창훈 외(2021), 탄소중립 시나리오 작성 및 이행점검체계 구축을 위한 기획 연구, KEI.
- 추장민 외(2019), 한-중 탄소 배출권거래제 비교 및 협력방안 연구, KEIP 대외경제정책연구원.
- 한상운·마아랑(2021), 탄소중립기본법의 의미와 향후 법적 과제, 법과 정책연구, 21(4), pp. 123-146.

환경부(2021.12.30.), 한국형 녹색분류체계 가이드라인.

KMI 중국리포트(2022.1.15.), 통계로 보는 중국: 상하이항 물동량 추이, 제22-1호,
한국해양수산개발원 중국연구센터.

국외 문헌

ESPO(2020.11.20.), Top 10 Environmental Priorities of EU Ports 2020.

ESPO(2021.9.20.), ESPO GREEN GUIDE 2021, A MANUAL FOR EUROPEAN PORTS
TOWARDS A GREEN FUTURE

ESPO(2022a), Environmental Report 2022.

ESPO(2022b), Study-The new energy landscape.

ESPO(2022c), Trends in EU ports' governance.

German Federal Government(2022), Germany's 2030 climate action package.

Government of the Netherlands(2019), Government of the Netherlands, Draft National
Strategy on Spatial Planning and the Environment.

Hamburg Port(2021), Action Plan 2030.

HPA(2021), HPA sustainability report 2019/2020.

IEA(2021), An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China.

IMO(2015), Study of emission control and energy efficiency measures for ships in
the port area. Retrieved from International Maritime Organization (IMO),
London, UK.

IMO(2021), Fourth IMO GHG Study 2020.

International Transport Forum, Olaf Merk(2021), Zero Carbon Supply Chains: The
Case of Hamburg.

IPCC(2018), Special Report Global Warming of 1.5°C.

IPCC(2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of
Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change: Summary for Policymakers.
- Kitakyushu Port & Harbor Bureau(2021), Green Energy Port HIBIKI – A Wind Energy Industry Hub in Japan,
- Netherland government(2022a), Draft National Strategy on Spatial Planning and the Environment.
- Netherland government(2022b), Port Vision 2030.
- PORTS&TERMINALS(2021), THE VOYAGE TO NET-ZERO: WHAT ROLE CAN PORTS PLAY?,
- Port of LA&Port of LB(2017), San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan 2017 DRAFT Final.
- Rotterdam Port(2021), Port Vision 2030.
- San Pedro Bay Ports(2022), Clean Air Action Plan.
- SIPG(2015), 建设绿色循环低碳港口节能减排专项规划(2015~2020).
- SIPG(2022a), 2021年可持续发展报告.
- SIPG(2022b), 2021年年度报告.
- Starcrest Consulting Group, LLC(2019), San Pedro Bay Ports 1990 Greenhouse Gas Emissions Baseline Report.
- TUAS port(2022), Next Generation Tuas Port Project.
- UK, Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2021), Net Zero Strategy: Build Back Greener.
- UK Government(2022), Net Zero Strategy: Build Back Greener.
- United States Department of State and the United States Executive Office of the President(2021), THE LONG-TERM STRATEGY OF THE UNITED STATES Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050.
- United States of America(2021), The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050 (Accessible version).
- Yokohama port(2022), Master Plan of the Port of Yokohama.
- 北九州市(2022), 北九州港カーボンニュートラルレポート (CNP) 形成計画 (素案).

北九州港(2022), 令和3年(2021年)北九州港・港湾統計概要(確定値).
国土交通省 港湾局(2021), 「カーボンニュートラルポート(CNP)形成計画」策定
マニュアル(初版).
上海市人民政府(2021a), 上海市综合交通发展“十四五”规划.
上海市人民政府(2021b), 上海国际航运中心建设“十四五”规划.
上海市发展和改革委员会(2013), 上海市温室气体排放核算与报告技术文件-上海市
运输站点行业温室气体排放核算与报告方法(试行).

인터넷 자료

2050 탄소중립녹색성장위원회, 2050 탄소중립시나리오, <https://2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=10&menuLevel=2&menuNo=12> (검색일: 2022.8.23.)
2050 탄소중립 녹색성장위원회, 법령·정책, 탄소중립이란, <https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=9&menuLevel=2&menuNo=11> (검색일: 2022.6.23.)
경남일보(2022.02.02.), 부산항만공사 “항만 내 차량 대기시간 대폭 감소”, <http://www.gnnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=493080>(검색일:2022.6.17.)
기후변화홍보포털, 기후변화와 기후변화대책, <https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/change/globalWarming.do>(검색일: 2022.6.19.)
다이내믹부산(2022.5.12.), 부산, 탄소중립 글로벌 선도도시로, <https://www.busan.go.kr/news/totalnews01/view?dataNo=66722&gugun=Prev>(검색일: 2022.9.30.)
대한민국 정책브리핑, 2050 탄소중립, <https://www.korea.kr/main.do>(검색일: 2022.8.27.)
대한민국 정책브리핑(2022.6.16.), 국내 첫 ‘자동 안벽크레인’ 갖춘 부산항 신항 6부두 17일 개장, <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148902573>(검색일: 2022.6.19.)

- 물류신문(2021.12.1.), YGPA, '2050 탄소중립 항만 전환 추진전략' 발표, <https://www.klnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=303147>(검색일: 2022.9.30.)
- 물류신문(2011.6.23.), 부산항 신항 배후물류단지 아시아 최대 태양광사업 시도, <http://www.klnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=101511>(검색일: 2022.6.28.)
- 부산일보(2021.1.17.), 넷스파-청년기업의 도전...“폐어망 나일론, 우리라고 못 만드나요?”, <http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2021011702372278805>(검색일: 2022.6.10.)
- 부산일보(2022.4.10.), 스마트 항만물류 BPA '팔 걷었다', <https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2022041018002659602> (검색일: 2022.6.19.)
- 부산일보(2021.11.19.), BPA, 부산항 컨테이너 차량 이용해 전기에너지 생산하는 압전발전 시스템 기술 개발 착수, <https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2021111911304242265>(검색일: 2022.6.19.)
- 부산일보(2021.11.26.), BPA, 선박저속운항프로그램 운영으로 올해 부산항 대기오염물질 35.8% 감축 예상, <https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2021112614561358046>(검색일: 2022.6.13.)
- 서울경제(2021.9.14.), 해수부 '脫탄소 수소항만' SK 손잡고 구축 본격화, <https://n.ews.naver.com/mnews/article/011/0003962466?sid=101>(검색일: 2022.6.9.)
- 서울경제(2022.4.6.), BPA, 스마트 항만물류 플랫폼 고도화사업 착수... 디지털 트윈·5G 기술 접목, <https://www.sedaily.com/NewsView/264L77L8I1>(검색일: 2022.6.19.)
- 서울경제신문(2022.2.25.), 부산항에 LNG 로드트랙터 도입...국내 항만 최초, <https://www.sedaily.com/NewsView/262A1TOM2X>(검색일: 2022.7.8.)
- 서울경제신문(2022.4.6.), BPA, 스마트 항만물류 플랫폼 고도화사업 착수... 디지털 트윈·5G 기술 접목, <https://www.sedaily.com/NewsView/264L77L8I1>(검색일: 2022.7.8.)
- 신재생에너지가이드 뉴스(2019.12.4.), 한국남부발전, 부산신항 100MW급 태양광발전 사업설명회 개최, <https://newenergyinfo.kr/2062296207/?idx=2807951&bmode=view>(검색일: 2022.7.23.)
- 아주경제(2021.5.27.), 포어시스, 해양폐기물 초음파 전처리 시스템 구축, <https://www.ajunews.com>

w.ajunews.com/view/20210527174209016(검색일: 2022.5.30.)

연합뉴스(2016.4.20.), 부산항만공사 中企 손잡고 항만용 LED 투광등 처음 개발, <http://www.yna.co.kr/view/AKR20160420113900051>(검색일: 2022.7.3.)

연합뉴스(2020.1.27.), 부산항 대기 질 실시간 파악한다...20곳에 측정망 구축, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200122143900051>(검색일: 2022.9.2.)

연합뉴스(2021.8.5.), 부산항만공사 “부산항 초미세먼지 2025년까지 70% 감축”, <http://www.yna.co.kr/view/AKR20210805134900051>(검색일: 2022.7.17.)

연합뉴스(2021.11.19.), 부산항 컨테이너 차량 이용 전기 생산시스템 개발 추진, <http://www.yna.co.kr/view/AKR20211119085300051>(검색일: 2022.9.28.)

영남신문(2021.2.21.), 부산항만공사, 항만지역 주민이 체감하는 미세먼지의 체계적 관리를 위한 빅데이터 기반 실시간 미세먼지 측정망 21개소 확대 구축, <https://www.ynamnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=31048>(검색일: 2022.6.14.)

영남신문(2022.1.17.), 부산항만공사, 항만 드나드는 컨테이너 차량 활용해 전력 생산 「압전발전 시스템 기술개발」 착수 보고회 개최, <https://www.ynamnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=54752>(검색일: 2022.7.29.)

이코노믹포스트(2021.7.21.), 부산항만공사, 부두 운영사와 손잡고 노후 조명등 LED 교체 추진, <http://www.economicpost.co.kr/23806>(검색일: 2022.6.15.)

이코노믹포스트(2022.6.16.), 부산항만공사, ‘부산항 2050 탄소중립 종합계획 수립 용역’ 착수보고회 개최, <http://www.economicpost.co.kr/38290>(검색일: 2022.9.2.)

인천투데이(2021.08.11), IPA, '2050년 인천항 탄소중립' 선언...인천 공기업 두번째 <https://www.incheontoday.com/news/articleView.html?idxno=210553> (검색일: 2022.9.30.).

한국경제(2018.12.18.), 부산항만공사와 한국선급, 부산항 수소기반 친환경 항만 만 든다, <https://www.hankyung.com/society/article/201812180250h>(검색일: 2022.7.28.)

한국경제(2021.5.28.), 국내 첫 전기 추진 선박 내년 부산항서 운항, <https://www.hankyung.com/economy/article/202105289285Y>(검색일: 2022.9.2.)

한국경제(2021.11.19.), 부산항 컨테이너 차량 이용 전기 생산시스템 개발 추진, <http://www.hankyung.com/economy/article/20211119085300051>

- s://www.hankyung.com/economy/article/202111190859Y(검색일: 2022. 6.19.),
- 한국농어촌방송(2022.6.22.), BPA, 부산 신항에 ‘국내 최초’ AMP 케이블 도입... ‘육상 전원 이용 활성화’ 기대감, <http://www.newskr.kr/news/articleView.html?idxno=78596>(검색일: 2022.6.29.)
- 한국은행 북경사무소 보도자료(2021.7.19.), [현지정보] 중국, 전국단위 탄소배출권 거래소 개설, <https://www.bok.or.kr/portal/bbs/P0002232/view.do?nttId=10065707&menuNo=200086>(검색일: 2022.7.18.)
- 해사정보신문(2022.1.27.), BPA 차량반출입예약시스템(VBS) 2차 시범운영 결과, 항만 내 차량 대기시간 대폭 감소 효과 증명, <https://www.haesainfo.com/news/articleView.html?idxno=34514>(검색일: 2022.6.14.)
- 해양수산부 보도자료(2022.6.16.), 자동 안벽크레인을 갖춘 부두, 국내 최초로 개장, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156511936>(검색일: 2022.9.2.)
- 해양한국(2022.4.7.), BPA, 디지털 트윈과 5G 기술 스마트 항만물류 플랫폼 고도화사업 착수, <http://m.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=33987>(검색일: 2022.8.17.)
- 해양한국(2022.7.28.), ‘부산항 2050 탄소중립 종합계획 수립용역’ 착수보고회 개최, <http://m.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=35213>(검색일: 2022.8.2.)
- 해운산업신문(2021.2.19.), BPA, 항만지역 주민이 체감하는 미세먼지의 체계적 관리를 위한 빅데이터 기반 실시간 미세먼지 측정망 21개소 확대 구축, <https://www.cargotimes.net/news/articleView.html?idxno=63661>(검색일: 2022.7.7.)
- 현대해양(2022.3.18.), BPA, 2022년도 경유 야드트랙터(Y/T) LNG 연료전환 사업 추진, <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=16675>(검색일: 2022.6.14.)
- 환경부 보도자료(2011.1.14.), 자동차부문 오염저감연구 위해 정부·업계가 뭉쳤다!, <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?sessionId=akOq2Sdf6FkibVcVYtAd3QCc.mehome1?pagerOffset=10190&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=286&orgCd=&>

boardMasterId=1&boardCategoryId=&boardId=176454&decorator=(검색
일: 2022.7.24.)

환경부 보도자료(2021.7.24.), [참고] 주요 20개국 협의체(G20) 환경장관회의 및 기후·에너지 합동장관회의 폐막, <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1468015&menuId=286>(검색일: 2022.7.19.)

환경부 보도자료(2021.8.31.), (참고)2050 탄소중립을 향한 경제·사회 전환 법제화 탄소중립기본법 국회 통과, <http://me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1473295&menuId=286>(검색일: 2022.7.19.)

A Singapore Government Agency Website, Tuas Port-A smarter and Greener Port, <https://www.mpa.gov.sg/maritime-singapore/port-of-the-future>(검색일: 2022.9.18.)

Brussels times(2020.5.28.), <https://www.brusselstimes.com/113981/port-of-antwerp-moves-to-halve-co2-emissions-by-2030/>(검색일: 2022.7.13)

Bundesregierung Website, Climate Action Programme 2030, <https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action>(검색일: 2022.7.23.)

Bundesregierung Website, Kanzler kompakt: Wie kann der Wiederaufbau der Ukraine gelingen?, <https://www.bundesregierung.de/>(검색일: 2022.8.17.)

CATAPULT, Smart energy technologies to be piloted at Portsmouth International Port, <https://es.catapult.org.uk/news/smart-energy-technologies-portsmouth/>(검색일: 2022.6.10.)

China Climate Change Info-Net, 中共上海市委 上海市人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见, <https://www.ccchina.org.cn/Detail.aspx?newsId=74058&TId=60>(검색일: 2022.9.23.)

Clean Air Action plan.org, Stakeholder Advisory Group, <https://cleanairactionplan.org/about-the-plan/stakeholder-advisory-group/>(검색일: 2022.8.10)

Enerdata, Germany aims to reach carbon neutrality by 2045, <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/germany-aims-reach-carbon-neutrality-2045.html>(검색일: 2022.9.29.)

- EPA, <https://www.epa.gov/>(검색일: 2022.7.15.)
- Erasmus University, <https://www.rsm.nl/positive-change/sdg-cases/going-green-er-and-smarter-the-energy-transition-at-the-port-of-rotterdams-industrial-complex/>(검색일: 2022.9.10)
- European Commission(2022a), A European Green Deal, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en(검색일: 2022.9.20.)
- European Commission(2022b), EU taxonomy for sustainable activities, https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en(검색일: 2022.9.20.)
- German Federal Government, <https://www.bundesregierung.de/breg-en>(검색일: 2022.7.23.)
- German Federal Government, Climate Action Programme 2030, <https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action>(검색일: 2022.7.23.)
- Government of the Netherlands, Climate policy, <https://www.government.nl/topics/climate-change/climate-policy>(검색일: 2022.7.16.)
- Groenlinks website(2018.6.27.), THE NETHERLANDS PRESENTS AMBITIOUS CLIMATE LAW, <https://groenlinks.nl/nieuws/netherlands-presents-ambitious-climate-law>(검색일: 2022.7.16.)
- Innovations of the world, <https://innovationsoftheworld.com/>(검색일: 2022.6.29)
- Japan, The Ministry of Economy(2020.12.25.), Trade and Industry, “Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050” Formulated, https://www.meti.go.jp/english/press/2020/1225_001.html(검색일: 2022.8.16.)
- Net Zero Tracker, Net Zero Numbers, <https://zerotracker.net/>(검색일: 2022.6.30.)
- OFFSHORE ENERGY, <https://www.offshore-energy.biz/port-of-helsinki-eyes-carbon-neutrality-by-2030/>(검색일: 2022.8.5.)
- OFFSHORE ENERGY, Port of Antwerp to convert a tug to methanol in a ‘world’s first’, <https://www.offshore-energy.biz/port-of-antwerp-to-convert-a-tug-to-methanol-in-a-worlds-first/>(검색일: 2022.6.29.)
- OFFSHORE ENERGY, Port of Rotterdam expanding hydrogen and CO2 transport

-
- capacity, <https://www.offshore-energy.biz/port-of-rotterdam-expanding-hydrogen-and-co2-transport-capacity/>(검색일: 2022.9.30.)
- Port Authority NY NJ, Sustainability, <https://www.panynj.gov/port/en/our-port/sustainability.html>(검색일 : 2022.7.15.)
- Port of Hamburg, <https://www.hamburg.com/port/>(검색일: 2022.9.10.)
- Port of Los Angeles, Environment, <https://polb.com/environment/our-zero-emissions-future>(검색일: 2022.8.23.)
- The port of Los Angeles, PORT OF LOS ANGELES CONTINUES CLEAN AIR PROGRESS, 2019 Report: Aggressive Clean Air Measures, Innovation and Increased Efficiency Drive Gains.https://www.portoflosangeles.org/references/news_100120_air_emissions_report(검색일: 2022.9.30.)
- Port of Rotterdam, <https://www.portofrotterdam.com/en>(검색일: 2022.8.23.)
- Port of Rotterdam, energy transition, <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition>(검색일: 2022.9.10.)
- Port of Yokohama, <https://www.city.yokohama.lg.jp/lang/overseas/port/>(검색일: 2022.8.19.)
- Portsmouth Port, INNOVATIVE SOLAR PANEL PROJECT BEGINS AT PORTSMOUTH INTERNATIONAL PORT, <https://portsmouth-port.co.uk/news/innovative-solar-panel-project-begins-at-portsmouth-international-port/>(검색일: 2022.9.10.)
- Rijksoverheid Website, <https://www.rijksoverheid.nl/>(검색일: 2022.7.15.)
- Singapore's Climate Action Plan, <https://www.mse.gov.sg/resources/climate-action-plan.pdf>(검색일: 2022.9.30.)
- Singapore Green Plan 2030, <https://www.greenplan.gov.sg/>(검색일: 2022.7.29.)
- Splash247, <https://splash247.com/port-of-tallinn-develops-roadmap-to-carbon-neutrality/>(검색일: 2022.8.10)
- The Korea maritime news(2022.2.23.), 울산항 탄소중립 추진 박차...탄소중립협의체 출범, <http://www.haesanews.com/news/articleView.html?idxno=103131>(검색일: 2022.9.30.)
- The port of Los Angeles, PORT OF LOS ANGELES CONTINUES CLEAN AIR PROGRES
-

- S 2019 Report: Aggressive Clean Air Measures, Innovation and Increased Efficiency Drive Gains, https://www.portoflosangeles.org/references/news_100120_air_emissions_report(검색일: 2022.8.19.)
- The White House, <https://www.whitehouse.gov/>(검색일: 2022.8.19.)
- UK Government, <https://www.gov.uk/>(검색일: 2022.7.17.)
- UNFCCC, Japan's Nationally Determined Contribution (NDC)-UNFCCC, <https://unfccc.int>(검색일: 2022.8.13.)
- U.S Department of state, <https://www.state.gov/>(검색일: 2022.7.15.)
- World101(2022), The Greenhouse Effect, <https://world101.cfr.org/global-era-issues/climate-change/greenhouse-effect>(검색일: 2022.6.19.)
- 中國政府網(2021.10.23.), 国务院关于印发2030年前碳达峰 行动方案的通知, http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm(검색일: 2022.9.27.)
- 中國政府網(2022.9.23.), 碳达峰碳中和“1+N”政策体系已构建 “双碳”工作取得良好开局, http://www.gov.cn/xinwen/2022-09/23/content_5711246.htm(검색일: 2022.9.27.)
- 中國能源局, <http://www.nea.gov.cn/>(검색일: 2022.9.27.)

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2022년

01	선박투자 가치평가 및 위험관리 모형 연구	박성화
02	항만 컨테이너 반출입 예약시스템 가격결정 모형 연구	서정용
03	연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구	정지호
04	탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석 연구	권장한
05	수산물 안전성 관리체계 개선방안 연구	조현주
06	준해양사고 통보제도 개선방안 연구	박상원
07	MZ세대 소비트렌드를 반영한 해양관광 추진방안 연구	최일선
08	연근해 어종별 어획쿼터제도 도입방안 연구	심성현
09	행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구	조성진
10	항만분야 탄소중립 관리체계 개선방안 연구	안승현
11	탄소중립 시대 양식산업 대응전략 연구 - 육상 어류양식을 중심으로 -	마창모
12	수산물식품산업의 탄소중립 대응방안 연구 - 가공업을 중심으로 -	김지연
13	해양환경보전정책 도입방안 연구	박수진
14	포스트 코로나 시대의 컨테이너 해운산업 대응방안 연구 - 디지털 플랫폼을 중심으로 -	최건우
15	항만분야 공공갈등 관리방안 연구	김세원
16	글로벌 가치사슬 변화와 국제물류 분야 대응방안 연구 - 전기자동차 산업을 중심으로 -	권보배
17	항만개발제도 개선방안 연구	이수영
18	클러스터 혁신을 통한 선박관리업 발전방안 연구	허성례
19	수입수산물 예방적 관리체계 도입방안 연구 - IUU 수산물을 중심으로 -	안지은
20	양식수산물 유통 빅데이터 구축방안 연구	이기영
21	신남방 지역 ICT 산업 가치사슬 변화에 따른 물류 공급사슬 대응방안	최나영환

2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정치호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도) -	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2022년

01	항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구	안용성
02	매립지 소유권 분리 제도화의 이해관계 분석과 갈등 해소방안	윤성순
03	글로벌 공급망 리스크별 영향분석 및 대응방안 연구 - 에너지·곡물을 중심으로	조지성
04	대북제재 강화와 코로나 팬데믹 이후 북한 해양수산 이슈와 대응 방안	윤인주
05	남극환경보호의정서 제6부속서의 국내 이행을 위한 법제 정비방안 연구	박예나
06	해양바이오산업 활성화를 위한 해양수산생명자원 법령 정비 방안 연구	좌미라
07	우리나라 수산종자 관리체계 개선방안 연구	조현주
08	2046 신해양강국 청사진	김민수

Ⅰ 2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진희
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2022년

01	건화물선 시장 비용분석을 통한 해운시장 위험관리지표체계 구축	류희영
02	해상운임 예측모형 고도화 연구(Ⅰ)	황수진
03	IMO 시장기반조치 도입이 국내 해운기업에 미치는 영향	김한나
04	연안지역발전지수(CoDI) 개발 연구	황재희
05	CGE 기반 국제통상환경 변화의 해양수산부문 파급효과 분석	임병호
06	글로벌 수산부문 이미징 이슈 분석 모델 개발 연구	한기욱
07	양식 수산물 중장기 수급전망모형 구축 연구 - 굴을 중심으로 -	김철현
08	Network DEA를 이용한 물류기업 경쟁력 비교 분석 연구	황선일
09	해양수산 사업체 성과 및 효율성 분석 연구	김주현
10	베이지안 방법을 이용한 양식 명계 단수 추정방안 연구	천성훈
11	수입수산물과 국산 간의 대체관계 분석 연구 - 활·신선냉장품을 중심으로 -	박혜진
12	국내 컨테이너 해운기업의 디지털 전환 활성화 방안 연구	전서연
13	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅰ) - 자동차, 석탄, 고철, 시멘트를 중심으로 -	최석우
14	동중국해 해양경계획정 방안 기초 연구	박영길
15	해양수산 분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구(Ⅱ)	김찬호
16	항만개발사업의 정책효과 적용방안 연구	이종필
17	국가 해양전략 기본구상 연구	정현욱
18	선박대기시간 예측모형 개발을 위한 방법론 연구	조아현
19	안전항만 구축을 위한 비용 산정 및 지원체계 마련을 위한 연구	최상균

Ⅰ 2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로 -	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

수시연구 2022-01

항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구

인쇄 2022년 11월 29일

발행 2022년 11월 30일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주 소 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) (051-911-9890)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원