

광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 요인분석 연구*

은용주** · 최용석***

A Study on the Analysis of Factors for Carbon Neutrality Construction of Container Terminal in Gwangyang Port

Eun, Yong-Ju · Choi, Yong-seok

Abstract

This study was conducted to identify the relative importance of the decision factors that should be given priority in order for Gwangyang Port Container Terminal to transform into an eco-friendly port based on carbon neutrality.

To this end, three upper decision factors and 12 lower decision factors were derived, and a survey was conducted targeting shipping port experts and port users. The priorities were identified using the Fuzzy-Analytic Hierarchy Process(Fuzzy-AHP) technique.

As a result, the importance of the three upper priority factors was evaluated in the order of low-carbon infrastructure construction, legal system improvement, and operational management efficiency. As a result of the composite weight analysis calculated by multiplying the importance of the upper factor by the lower factor, the comprehensive combined importance of the 12 lower-level factors was highest in ① conversion to eco-friendly power such as existing unloading equipment, followed by ② expansion of renewable energy in ports, ③ introduction of energy-saving equipment and facilities, ④ establishment of a circular hydrogen sharing network in the Gwangyang Bay area, ⑤ establishment and implementation of a low-carbon port mid- to long-term strategy, ⑥ provision of incentives to users to achieve carbon neutrality, ⑦ implementation of regulatory measures such as a carbon burden system, ⑧ establishment of an eco-friendly port management system, ⑨ introduction of a mandatory AMP use system, ⑩ expansion of the low-speed operation program, ⑪ expansion of operation of a carbon-neutral working-level organization and education, and ⑫ greenhouse gas monitoring in ports and nearby areas.

This study provided the basic basis and foundation through an analysis of the priority of decision factors for Gwangyang Port Container Terminal to leap forward as a global carbon-neutral port, and presented objective criteria for introduction decision factors that should be referenced by the government, local governments, port authorities, and shipping and port-related organizations.

Key words: Carbon neutral, Gwangyang Port, Container Terminal, Factor Analysis, Fuzzy-AHP

▷ 논문접수: 2024. 08. 31. ▷ 심사완료: 2024. 09. 26. ▷ 게재확정: 2024. 09. 29.

* 『이 논문은 은용주의 박사학위 논문을 요약 정리한 것임』

** 여수광양항만공사 부장, 제1저자, silver@ygpa.or.kr

*** 순천대학교 물류학과 교수, 교신저자, drasto@senu.ac.kr

I. 서론

현대 글로벌 사회는 사회·경제적 공동체의 범위가 이념 및 국가를 초월하여 확대되면서 재화·서비스·생산요소 등의 국가 및 지역 간 이동이 증가하고 있으며, 원자재, 상품 등의 이동은 90% 이상이 해상으로 운송되기 때문에 해운과 항만에 대한 경쟁력 확보는 국가 경쟁력 차원에서 더욱 중요해지고 있다.

항만의 경쟁력은 항만 공간의 물리적 위치, 물류시스템의 연결성 및 효율성 뿐만 아니라 복잡하고 다양한 외부환경 변화의 수용 능력도 매우 중요한 요소로 평가받고 있다.

특히 기후변화 대응이라는 시대적 요구와 산업여건 변화에 따른 자동화 운영 체계 확산, 각종 하역장비의 전기 동력화 등 에너지 전환, 친환경 항만 구축을 위한 AMP(Alternative Marine Power, 육상전원공급시설) 설치 등으로 항만의 전기에너지 소비가 크게 확대될 것으로 예상되고 있다(김근섭 외, 2021).

국제사회는 온실가스 배출에 따른 지구온난화의 심각성에 인식을 같이 하고, 기후위기에 대응하기 위하여 기후변화협약(1992년) 체결, 교토의정서(1997년) 및 파리협정(2015년) 채택 등을 통하여 지구의 평균기온 상승을 억제하기 위한 논의를 이어 가고 있다.

우리나라는 2015년 이후 고농도 초미세먼지(PM-2.5)가 연속적으로 집중 발생되면서 국민적 관심이 급증하여 '대기환경 개선'이 환경 및 보건 분야의 주요 현안으로 대두되었으며, 2020년 10월 '2050 탄소중립' 선언을 통하여 기후위기 영향을 줄이기 위한 파리협정 등 국제사회의 노력에 동참하고 있다.

최근 수립된 해양수산부문의 정책 방향은 해운 및 항만의 경쟁력 향상을 위하여 '스마트', '디지털', '자동화'라는 과제 외에 '친환경', '탄소중립'이라는 과제를 중심으로 수립되고 있으며, 그동안 누락되었거나 저평가되었던 하역 장비, 예선 등에 대한 현황 조사 및 분석과 '대기환경 개선', '탄소중립'을 위하여 선

박·시설·장비의 '에너지 전환 및 효율 개선'을 위한 기술개발도 진행되고 있다.

그러나 '대기환경 개선'과 '탄소중립'을 위한 정책과 사업의 효율적인 관리 및 대응체계 구축을 위해서는 현재 항만에서 운용되고 있는 다양한 선박·시설·장비 등에 대한 현황 파악이 최우선 진행되어야 하며, 현황에 대한 분석 결과를 기반으로 우선순위 도출, 맞춤형 사업 선정 및 추진 등 단계별 로드맵 수립이 필요하다.

그러므로 국내 수출입 물동량 1위이자 한국형 자동화 컨테이너터미널의 건설을 진행 중인 광양항은 국내·외 환경규제에 대한 대응체계 구축이 더욱 필요한 실정이다.

광양항 컨테이너터미널의 실정을 고려하여 탄소중립 구축을 위한 우선 요인을 분석한 후 단계별 로드맵에 따른 정책 및 사업 추진, 지속적 이행평가의 추진 등 체계적으로 정책 및 사업을 관리하여야 광양항 컨테이너터미널의 '대기환경 개선'과 '탄소중립'이 실현될 수 있다.

광양항 인근지역은 철강·정유·석유화학·기초소재 부품산업을 중점으로 하는 전라남도의 핵심 산업단지가 조성되어 있어 지역 산업과 연계된 연료, 원료, 상품 등의 운송을 위하여 다양한 형태의 배출원이 발생하고 있다.

특히 단일공장으로는 세계 최대 제강 능력을 갖추고 광양항을 중심으로 생산활동을 전개하고 있는 포스코 광양제철소는 환경부 조사 결과 2022년 굴뚝 자동측정기기(TMS)가 설치된 전국 887개 대형사업장 가운데 가장 많은 대기오염물질을 배출한 것으로 나타나 2019년부터 4년 연속 대기오염물질 배출량 1위라는 오명을 안고 있다.

광양항을 통하여 원재료 수입 및 제품 수출을 하는 여수국가산업단지 역시 석유화학, 정유산업 등의 연간 온실가스 배출량이 7,726톤으로 전남 전체 배출량의 96%를 차지하는 등 심각성을 더하고 있다.

이처럼 석유화학, 철강, 컨테이너 등 다양한 화물

을 처리하는 광양항의 경우 전체 처리 물량의 80%에 달하는 비중을 차지하는 여수국가산업단지외 포스코 광양제철소는 자체 생산활동에서 발생하는 대기오염 물질이 광범위하며, 기업들이 활용하는 항만도 건설된 지 30여 년이 지나 노후화가 심각하여 항만에서 발생하는 대기오염물질 저감만으로는 지역 전체의 탄소중립을 논하기에는 한계가 있는 것으로 판단하였다.

이에 반해 1990년대에 개발이 본격화되어 2000년대 초반부터 일부 선석 운영 및 단계적 개발과 개량이 이뤄진 광양항 컨테이너터미널은 운영 주체와 터미널 이용자들의 탄소중립에 대한 이해와 노력, 그리고 탄소중립에 대한 정책 실천으로 충분히 실현 가능성이 높을 것으로 판단하였다.

이에 본 연구에서는 대내·외 여건 변화 및 발전 방향 등을 살펴보고, 석유화학·철강·컨테이너·자동차·벌크화물 등 복합화물을 처리하는 광양항 전체보다는 컨테이너터미널을 대상으로 그 특성이 반영된 탄소중립 실현을 위한 우선 요인을 분석하여 단기·중기·장기 추진 전략 수립 및 지속적인 관리 체계의 구축 방안 수립을 위한 근거를 마련하는 것을 목적으로 한다.

II. 이론적 배경

전 세계가 심각한 지구온난화에 따른 기후변화로 인해 해수 온도가 상승하면서 태풍, 허리케인, 폭우 등 극단적인 날씨 현상의 강도와 빈도가 급격히 증가하면서 인명 및 재산에 큰 피해를 주고 있다.

‘기후’란 일정한 지역에서 오랜 기간(30년 이상)에 걸쳐 나타나는 날씨의 평균 상태를 의미하며 일반적으로 기후변화는 화산 폭발, 태양활동의 변화, 지구 궤도의 변화 등 자연적 요인이나 화석연료 사용, 각종 산업활동 등에 따른 온실가스 증가, 도시화로 인한 숲의 파괴 등 인간 활동에 따른 인위적 요인에 의

하여 전체 기후시스템이 장기적으로 변동, 변화하는 것을 말한다.

특히 인간 활동으로 인해 온실가스의 양이 필요 이상으로 늘어나면서 지구의 온도가 지나치게 더워지는 ‘지구온난화’ 현상은 심각한 기후변화를 가져오고 있다.

이에 국제사회는 인간이 영위하며 배출한 온실가스로 인한 지구온난화의 심각성을 인식하고, 기후 위기에 대응하기 위하여 공동으로 노력하고 있다.

기후변화협약(1992년)을 맺고 교토의정서(1997년)와 파리협정(2015년) 채택을 통해 지구 평균기온 상승을 1.5℃로 억제하는 것을 논의했으며, 우리나라 역시 2050년을 목표로 탄소중립을 이루기 위해 노력하고 있다(윤순진, 2021).

또한 세계 각국에서는 대기 중 온실가스 농도 증가를 막기 위해 화석연료의 연소, 수송 등 인간 활동에 의한 인위적 배출량을 0에 가깝게 감소시키고 숲 복원, 블루카본 기술, 탄소 제거 기술 활용 등으로 흡수량을 증대하여 순배출량이 ‘0’이 되는 것을 탄소중립 혹은 ‘넷제로(Net-Zero)’를 국가적인 시책으로 추진하고 있다(탄소중립 정책포털).

해운항만 분야의 경우 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서는 선박 운영으로 배출되는 오염물질에 의한 해양오염 방지를 위하여 1973년 해양오염 방지협약(MARPOL, Marine Pollution treaty)을 채택한 후 현재 유류 외에 오수, 폐기물, 대기오염 방지, 온실가스 감축 등으로 확대되고 있으며, 글로벌 뉴노멀(New Normal)인 “탄소중립” 이행을 강조하고 있다.

우리나라 역시 2020년 수립된 ‘2050 탄소중립 추진 전략’을 중심으로 국가 차원의 탄소중립 비전 및 추진 방향을 제시하고 있으며, 세부적인 분야별 탄소중립 방안은 관련 부처에서 계획을 수립하고 있다(김가현 외, 2021).

탄소중립 선언 후 탄소중립 기본법 제정, 2050 탄소중립위원회 신설, 2030 온실가스 감축 목표 상향,

2050년 탄소중립 시나리오 도출 등 탄소중립 목표 달성을 위하여 에너지, 산업, 수송, 사회 전반에서 온실가스를 감축하기 위한 정책을 수립, 노력해 오고 있다(이민아, 이구용, 2021).

해양수산 부문의 세부적인 전략은 '해양수산 분야 2050 탄소중립 로드맵'에서 정하고 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(안용성 외, 2022).

특히 항만 내에서는 항만 장비(야드 트랙터, 트랜스퍼크레인 등)를 친환경 연료로 전환하고, 신재생에너지를 활용한 발전과 에너지 효율화로 탄소배출 제로화를 추진키로 했다. 항만구역 내에 태양광발전을 설치하고, LED 조명 교체, 항만 탄소 저감 관

련 건설기술 마련 등 에너지 효율화도 추진한다.

또 수소 에너지 생태계를 갖춘 수소 생산·물류·소비 거점으로서의 수소 항만을 구축하기 위한 민관협력을 선도하는 한편 충전소·발전시설 등을 모은 수소 복합스테이션을 구축하고, LNG와 재생에너지 등을 활용한 수소 생산, 병커링 설비 등 수소 생태계 기반을 마련할 계획이다(이은창 외, 2022).

이 같은 추세는 해외 주요 항만에도 변화의 바람을 불러일으키고 있다. 국외 항만에서 계획 및 추진 중인 탄소중립 달성을 위한 사업은 해당 국가 및 항만의 여건에 맞추어서 저·무탄소 에너지원으로의 전환을 중심으로 진행하고 있고, 관련 사업을 유형화해서 구분하면 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 유형별 해외 항만 탄소중립 사업

유형	항만	주요 내용
신재생에너지 도입 사업	미국 LA항	10MW급 태양광 발전소 운영 - 자체 부지 및 유희부지 확보
	중국 텐진항	제로 카본 항만 구축을 위한 지속적 신재생에너지원 확보 - 물류창고 상옥 태양광 우선 추진
	아랍에미리트 두바이항	태양광 등 다양한 에너지원 확보 - 건물, 주차장, 장고 등에 88,000개 태양광패널 설치
신재생에너지 연계 및 에너지 효율화 사업	싱가포르 싱가포르항	신재생에너지 및 ESS 연계사업 추진 - 스마트 그리드 관리시스템 도입(태양광 + ESS)
	네덜란드 로테르담항	H-Vision(Blue Hydrogen for a green future) - 해상풍력 + 수소생산
	스페인 발렌시아항	청정수소파트너십(Clean Hydrogen JU) - R/S, Y/T에 수소 공급하는 이동식 스테이션 건설
항만에너지 연료 전환 사업	스페인 바르셀로나항	Nexigen(육상전원공급장치 투자) - 신재생에너지원을 활용하여 전력망을 선박에 연결
	독일 함부르크항	CTA 터미널 하역장비 전전화(全電化) 사업 추진 - 무인 운반차량 배터리 전원 100% 전환
	스페인 바르셀로나항	Core LNGas hive - 하역장비 LNG 전환 및 LNG 공급선 통한 연료공급
	미국 롱비치항	대형 트럭 최초 공공 충전소 개설 - San Pedro Bay 항만 터미널에 대형 전기 트럭에 대해 무료 충전 지원
	스페인 발렌시아항	수소 터미널 트랙터 테스트 프로그램 - 연료 전지·배터리 하이브리드 파워트레인 작업 수행

유형	항만	주요 내용
스마트 항만사업	싱가포르 싱가포르항	Digital PORT@SG 원스톱 포털시스템 - 선박통관절차의 간소화 및 적시 운항, 수리서비스 제공
	스페인 바르셀로나항	스마트 에너지 플랫폼 사업 - 지역 신재생에너지 생산, 소비 공유하는 스마트 에너지 커뮤니티
	중국 텐진항	스마트 항만 구축으로 항만 하역 효율화 - 시간당 46.3개의 컨테이너에 대한 크레인 운영 효율성 및 M-line 효율성 입증
기타 항만 탄소중립 사업	네덜란드 로테르담항	포르토스의 CCUS 사업 - 로테르담 항만 해안에서 20km 떨어진 해상 폐 가스전에 포집된 이산화탄소 저장
	독일 함부르크항	항만하역장비 기후중립 인증 - CTA에서 운영중인 무인하역장비인 AGV 기후중립 인증 그린 암모니아 수출입 대비 항만 인프라 구축 - 독일 최초의 대규모 친환경 에너지 수입 터미널 건설

출처 : 여수광양항만공사, 여수광양항 탄소중립 항만 구축을 위한 기초자료 조사 및 추진체계 고도화 컨설팅, 2023.

III. 연구 방법 및 설계

본 연구에서는 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 요인을 분석하기 위하여 여수광양항만공사가 임직원 및 광양항 이용자들을 대상으로 실시한 탄소중립 인식도 설문 결과와 기존 선행연구에서 탄소중립 항만에 대하여 분석하고 연구한 요인들을 참고하여 최종적으로 도입 요인을 제1계층 요인과 제2계층 요인으로 구분하여 도출한 후 설문지를 작성하였다.

이러 설문조사 결과를 퍼지계층화분석(Fuzzy-AHP) 기법으로 분석하여 1차 및 2차 요인별 중요도를 평가하였다.

광양항 컨테이너터미널의 관리 운영 주체인 여수광양항만공사가 임직원 125명, 컨테이너부두 운영사 및 배후 물류단지 입주기업 직원 등 광양항 이용자 28명을 대상으로 탄소중립 인식도 조사, 정책 수립에 필요한 기관별 역할 및 방향 등을 파악하기 위하여 실시한 설문조사 결과 광양항의 탄소중립 구축을 위하여 중점적으로 추진되어야 할 요인은 다음 <표 2>와 같이 도출되었다.

표 2. 여수광양항만공사 설문 결과 탄소중립 이행 주요 요인

대상	구분	설문 결과 주요 도출 요인
YGPA 임직원	정부 정책 및 지원 과제	탄소중립 대응체계 구축, 법제도 합리화, 혁신기술 개발, 인력 양성, 예산 증대, 국민인식 제고, 에너지 전환 가속화, 혁신 생태계 구축, 순환경제 활성화, 녹색금융 활성화
	항만공사 역할 및 추진 사업	스마트 물류플랫폼, 인재 양성, 항만 LED 교체, 하역장비 탄소Zero, 항만시설 운영효율화, 신재생에너지 개발, 하역장비 연료 전환, AMP 도입, 저탄소 하역장비 등 인프라 구축, 수소 에너지원 확보, 규제 강화
광양항 이용자	정부 정책	인식개선, 관계자 교육, 법·제도 개선, 관련 인프라 구축, 예산지원, 연구개발 지원
	항만공사 추진 사업	수소 에너지원 확보, 선박·항만 규제 강화, 하역장비 친환경 연료 전환, AMP 도입, 신재생에너지 기반 구축, 관련 인프라 설치, 저탄소 하역장비

또한 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축 방안 탄소중립 관련 선행연구를 바탕으로 평가 요소들의 적합성 분석 수행을 위하여 국내 주요 항만의 <표 3>과 같이 분석 및 도출하였다.

표 3. 선행연구를 통한 광양항 탄소중립 이행 주요 요인

연구자	주요 요인
송계의 외 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> 선박 : 인센티브 프로그램 도입, AMP 도입, 청정연료 사용, 저감장치 이용 시 항만이용료 할인 하역장비 : 대체 연료엔진 활용, 청정연료 활용
임미순 외(2009), 정봉현(2009)	항만 인프라 구축
김태균, 김환성 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> 시설 및 장치 확충분야 : 고효율LED, 육상전력공급장치(AMP), 트럭의 공회전 방지장치, 폐쇄식 석탄창고, 에코호퍼, 고효율 컨베이어와 언로드 운영 및 제도 분야 : 항만환경관리부서, Green Port 인증제도, 환경인센티브, ESI 제도 도입
정태원 외(2018)	AMP 설치, Pier Pass 시행, 입항선박 감속운항
조진행(2019), 신춘진·정현재 (2020)	기존 장비의 동력원 전환, 신규 장비의 탄소중립 추진
김동윤·신학승(2019), 신춘진·정현재(2020)	다양한 인센티브 제도 도입
안용성 외 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> 대기환경 관리체계 구축 및 강화 : 항만 대기오염 실태 파악, 항만 및 선박 배출 실태 및 영향 파악, 대기환경 개선 보조금·관리 규제 위한 법제도 마련 선박 대기오염물질 배출 저감 : AMP설치, LNG병커링 인프라 구축, 선박의 친환경 연료 사용 유도, 선박감속운항프로그램 도입 항만 내 하역 및 수송 배출 저감 : 수송 하역시설의 친환경 연료 전환, 하역 물류 혁신 인프라 구축, 노후 장비 교체 및 대체 연료 사용
이지선 (2022)	친환경에너지 자립, 기존 장비의 동력원 전환, 신규 장비의 탄소중립 추진, 그린쉽(친환경선박) 확산 인센티브 지급, 항만배후단지의 무탄소 셔틀 차량운행, 항만 탄소중립 핵심기술의 R&D 개발, 탄소가격 부과, 기후 대응 기금 조성, 탄소중립 기업의 인센티브
신종범(2022)	친환경 시설 설비 투자, 환경인식 교육, 실무조직 구성, 환경인증 획득
전그린, 이언승, 이양기 (2024)	질소산화물 배출 규제를 위한 연구 및 법제도 개선, 선박의 수전장치 설치에 대한 재정적 지원, 육상전원공급장치 이용에 대한 인센티브 도입
K. Sakaki and K. Yamada (1997)	항만 전력 생산에 태양광 및 바이오매스 활용
Harry Geerlings and Ron van Duin (2011)	터미널 레이아웃 조정으로 장비 이동 최적화, 디젤 장비의 교체
Julian Martinez-Moya, et al.(2018)	야드트랙터의 연료를 LNG로 교체
Peng W, et al. (2018)	운항 속도 저감, 접안 보조 시간 단축, 육상전력 공급 및 대체 연료 사용, 디젤에서 LNG로 연료 전환
Zhong et al.(2019)	디젤에서 전기로의 RTGC 전환
Nikolaos Sifakis and Theocharis Tsoutsos(2020)	선박 저속운항, 장비 연료 전환, 항만 운영 및 서비스 자동화, 재생에너지 시스템, 연료 및 폐기물 전환, 스마트 마이크로그리드

앞에서 살펴본 2가지 방법을 통하여 탄소중립 컨테이너항만 구축을 위한 제1계층 상위 경쟁요인을 법·제도 개선, 운영관리 효율화, 저탄소 인프라 구축 등 3가지로 분류하였으며, 제1계층 경쟁요인에 대하여 각각 4가지의 제2계층 하위 경쟁요인을 도출, 총 12개의 하위 요인을 제시하였다.

먼저 법·제도 개선 측면에서는 저탄소 항만 중장기 전략 수립 및 이행, AMP 사용 의무화 제도 도입, 탄소중립 실현 이용사 인센티브 제공, 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행을 2차 항목으로 정하였다.

다음으로 운영관리 효율화 측면에서는 친환경 항만 경영시스템 구축, 저속운항 프로그램 확대 운영, 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대, 항만 및 인근

지역 온실가스 모니터링을 도출하였다.

저탄소 인프라 구축 측면에서는 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환, 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입, 항만 신재생에너지 확대, 광양만권 순환형 수소 공유망 구축을 제2계층 경쟁요인으로 선정하였다.

이후 최종 도출된 평가대상 대안들을 활용하여 Fuzzy-AHP 분석을 위한 계층적 의사결정 모형을 구성하고자 하였다. 또한, 항만 종사자, 대학교, 공무원·공공기관 근무자 등을 대상으로 한 쌍대비교 설문문을 실시하여 도출된 대안들의 중요도 및 우선순위를 파악하고자 하였다. 구체적인 항목 도출 결과는 다음 <표 4>와 같다.

표 4. 계층별 경쟁요인 설정 및 분류

제1계층 경쟁요인	순번	제2계층 경쟁요인
법·제도 개선	1	저탄소 항만 중장기 전략 수립 및 이행
	2	AMP 사용 의무화 제도 도입
	3	탄소중립 실현 이용사 인센티브 제공
	4	탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행
운영관리 효율화	5	친환경 항만 경영시스템 구축
	6	저속운항 프로그램 확대 운영
	7	탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대
	8	항만 및 인근지역 온실가스 모니터링
저탄소 인프라 구축	9	기존 하역장비 등 친환경 동력 전환
	10	에너지 절감형 장비 및 시설물 도입
	11	항만 신재생에너지 확대
	12	광양만권 순환형 수소 공유망 구축

IV. 실증분석

본 연구의 설문조사는 항만 관리 주체인 항만공사 임직원과 터미널 컨테이너터미널 운영사, 해운선사, 배후부지 입주기업, 기타 항만 이용업체, 대학교

교수 및 연구기관 연구원, 공무원 등 광양항 컨테이너터미널 관련 정책을 추진하거나 직접 이용하는 전문가들 52명에 대하여 실시하였다.

이 가운데 일관되지 못한 응답자의 설문자 등을 제외한 32명의 설문조사 결과를 반영하였다.

설문조사에 반영된 응답자 32명의 특성에 대한

통계를 분석하면 근무연수는 10년에서 15년 근무가 11명(34.38%), 직급은 과장급 이상 부장급 미만 16명(50.00%), 근무 업종은 해운선사 7명(21.87%), 연령은 30세에서 40세 미만 13명(40.62%)으로 가장 많은 분포를 보였다.

설문 결과를 Fuzzy-AHP 방법으로 분석한 결과 본 연구의 일관성 비율(CR)은 <표 5>에서 보듯이

0.2 미만으로 분석되어 유효한 것으로 판단하였다. 제1계층(상위)요인의 일관성 비율은 0.009이며, 제2계층(하위)요인에서도 법·제도 개선 요인 0.003, 운영관리 효율화 0.012, 저탄소 인프라 구축 0.016으로 설문에 참여한 응답자의 전문성과 객관성에 신뢰도가 있음을 확인할 수 있다.

표 5. 설문조사 결과의 일관성 비율

구 분	CRm	CRg
우선 요인	0.191	0.009
법제도 개선	0.024	0.003
운영관리 효율화	0.001	0.012
저탄소 인프라 구축	0.048	0.016

광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 우선요인 분석을 위해 설문결과를 측정요인 간의 쌍대비교 행렬로 표현하고 삼각퍼지가 적용된 행렬 값으로 변환하였다.

퍼지계층화분석을 통해 분석된 제1계층 상위요인의 상대적 중요도는 <표 6>과 같이 저탄소 인프라

구축(0.351), 법·제도 개선(0.333), 운영관리 효율화(0.316) 순으로 도출되었다. 이러한 결과는 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위해서는 광양항 컨테이너터미널의 현실을 반영한 저탄소 인프라 구축을 먼저 고려해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

표 6. 제1계층 경쟁요인 측정영역의 퍼지수 및 가중치

우선 요인	법제도 개선	운영관리 효율화	저탄소 인프라 구축	가중치
법제도 개선	(1.000,1.000,1.000)	(0.143,1.591,7.000)	(0.111,1.283,7.000)	0.333
운영관리 효율화	(0.143,0.629,6.993)	(1.000,1.000,1.000)	(0.111,0.224,5.000)	0.316
저탄소 인프라 구축	(0.143,0.779,9.009)	(0.200,4.464,9.009)	(1.000,1.000,1.000)	0.351

광양항 컨테이너터미널 탄소중립 구축 요인 중 법·제도 개선에 대한 세부항목에서는 <표 7>과 같이 저탄소항만 중장기 전략 수립 및 이행(0.254)이 가장 높게 나타났다.

이어 탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공(0.251), 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행(0.250), AMP 사용 의무화 제도 도입(0.246) 순으로 중요한 것으로 나타났다.

표 7. 법제도 개선 측정영역 퍼지수 및 가중치

법제도 개선	저탄소 항만중장기 전략 수립 및 이행	AMP 사용 의무화 제도 도입	탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공	탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행	가중치
저탄소항만중장기전략 수립 및 이행	(1,000,1,000,1,000)	(0,143,2,080,9,000)	(0,111,1,051,7,000)	(0,111,1,128,7,000)	0,254
AMP 사용 의무화 제도 도입	(0,111,0,481,6,993)	(1,000,1,000,1,000)	(0,111,1,008,7,000)	(0,111,0,792,7,000)	0,246
탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공	(0,143,0,951,9,009)	(0,143,0,992,9,009)	(1,000,1,000,1,000)	(0,111,1,302,9,000)	0,251
탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행	(0,143,0,887,9,009)	(0,143,1,263,9,009)	(0,111,0,768,9,009)	(1,000,1,000,1,000)	0,250

이는 우선 광양항 컨테이너터미널의 실정을 고려하여 탄소중립 시나리오를 마련하고 핵심 전략 체계 확립 등 중장기 전략을 수립한 뒤 정부 정책과 연계하여 탄소중립을 실천하는 선사, 터미널 운영사 등 항만 이용고객들에게는 인센티브를 제공하고, 탄소를 배출하는 만큼 부담금을 부과하는 법적인 근거가 마련되어야 한다는 것을 보여준다. 이어 항만 내에서 탄소배출을 최소화하는 AMP 사용을 의무화하는 등

의 다양한 제도적 장치도 필요한 것으로 분석된다. 운영관리 효율화에 대한 세부항목에서는 <표 8>과 같이 친환경 항만 경영시스템 구축(0.260)이 가장 높게 나왔으며 이어 저속운항 프로그램 확대 운영(0.248), 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대(0.247), 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링(0.245) 순으로 나타났다.

표 8. 운영관리 효율화 측정영역 퍼지수 및 가중치

운영관리 효율화	친환경 항만 경영시스템 구축	저속운항 프로그램 확대 운영	탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대	항만 및 인근지역 온실가스 모니터링	가중치
친환경 항만 경영시스템 구축	(1,000,1,000,1,000)	(0,143,2,003,9,000)	(0,167,2,457,9,000)	(0,111,2,744,9,000)	0,260
저속운항 프로그램 확대 운영	(0,111,0,499,6,993)	(1,000,1,000,1,000)	(0,111,1,026,9,000)	(0,111,1,363,9,000)	0,248
탄소중립 실무 조직 운영 및 교육 확대	(0,111,0,407,5,988)	(0,111,0,975,9,009)	(1,000,1,000,1,000)	(0,143,1,210,9,000)	0,247
항만 및 인근 지역 온실가스 모니터링	(0,111,0,364,9,009)	(0,111,0,734,9,009)	(0,111,0,826,6,993)	(1,000,1,000,1,000)	0,245

결과에서 보듯이 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 달성을 위해서는 운영주체인 여수광양항만공사

를 비롯하여 지자체, 학계, 선사 및 터미널 운영사 등 항만 이용자들이 참여하는 자문위원회를 운영하

고 모두가 공감할 수 있는 친환경 항만 경영시스템을 함께 구축해야 할 것으로 조사됐다.

또한 현재 광양항에서 추진하고 있는 저속운항 프로그램을 전면 확대하여 광양항 컨테이너터미널을 이용하는 모든 선사들이 참여할 수 있도록 유도하고, 여수광양항만공사 내에 탄소중립 대응 전문조직을 운영하여 광양항 이용자 및 종사자들의 탄소중립에 대한 인식을 전환할 수 있도록 다양한 교육 교육 프로그램을 도입하는 것도 필요한 것으로 분석됐다.

지속적으로 온실가스 배출 현황 파악하기 위하여 항만 및 인근지역에 온실가스 모니터링 장비를 구축

하고 그 결과를 데이터베이스화하는 방안도 고려해야 할 요인으로 나타났다.

광양항 컨테이너터미널 탄소중립 구축 요인 중 가장 높은 것으로 나타난 저탄소 인프라 구축에 대한 세부항목에서는 <표 9>와 같이 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환(0.258)이 가장 높게 나타났으며 그 뒤를 이어 항만 신재생에너지 확대(0.250), 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입(0.249)이 비슷한 수준으로 조사됐으며 광양만권 순환형 수소 공유망 구축(0.244) 항목 순이었다.

표 9. 저탄소 인프라 구축 측정영역 퍼지수 및 가중치

저탄소 인프라구축	기존 하역장비 등 친환경 동력 전환	에너지절감형 장비 및 시설물 도입	항만 신재생에너지 확대	광양만권 순환형 수소 공유망 구축	가중치
기존 하역장비 등 친환경 동력 전환	(1,000,1,000,1,000)	(0,167,2,466,9,000)	(0,143,2,009,9,000)	(0,111,1,944,9,000)	0.258
에너지 절감형 장비 및 시설물 도입	(0,111,0,406,5,988)	(1,000,1,000,1,000)	(0,111,1,243,9,000)	(0,111,1,678,9,000)	0.249
항만 신재생에너지 확대	(0,111,0,498,6,993)	(0,111,0,805,9,009)	(1,000,1,000,1,000)	(0,167,2,316,9,000)	0.250
광양만권 순환형 수소 공유망 구축	(0,111,0,514,9,009)	(0,111,0,596,9,009)	(0,111,0,432,5,988)	(1,000,1,000,1,000)	0.244

이는 화석연료를 사용하는 기존 터미널의 하역장비 및 운송장비를 전기, 수소 등 친환경 연료·에너지 지원으로 전환하고, 컨테이너터미널의 생산성과 효율성을 극대화하면서 에너지를 절감할 수 있는 태양광, 풍력과 같은 재생에너지를 사용하고 이에 걸맞는 친환경 장비 및 시설물을 도입하여 탄소중립을 달성해야 할 것으로 분석되었다.

광양항 관련 유관기관이 광양항 컨테이너부두, 광양제철소, 여수산업단지를 연결하는 약 50km 구간의 광양만권 순환형 수소 공유망 조성은 다소 응답률이 낮아 실현가능성에 대한 기대감이 높지 않음을 보여

주었다.

광양항 컨테이너터미널 탄소중립 구축 방안을 위한 우선순위 12개 세부 항목의 종합순위를 도출하기 위해 상위요인의 중요도와 하위 요인의 곱으로 복합가중치를 산정하였다.

복합가중치를 이용한 중요도 종합분석 결과를 보면 <표 10>에서 보듯이 결합중요도가 가장 높은 요인은 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환(0.090558)이었으며 이어 2위 항만 신재생에너지 확대(0.087750), 3위 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입(0.087399), 4위 광양만권 순환형 수소 공유망 구축

(0.085644), 5위 저탄소항만 중장기 전략 수립 및 이행(0.084582), 6위 탄소중립 실무 조직 운영 및 교육 확대(0.083583), 7위 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행(0.083250), 8위 친환경 항만 경영시스템 구축(0.082160), 9위 AMP 사용 의무화 제도 도입(0.081918), 10위 저속운항 프로그램 확대 운영(0.078368), 11위 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대(0.078052), 마지막으로 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링(0.077420) 순으로 평가되었다.

그 결과 상위요인의 중요도가 가장 높았던 저탄소 인프라 구축 요소의 하위요인인 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환, 항만 신재생에너지 확대, 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입, 광양만권 순환형 수소 공유망 구축이 1~4위를 차지하여 광양항 컨테이너

터미널의 탄소중립 구축을 위해서는 중장기 마스터 플랜을 마련하고 이에 걸맞는 저탄소 인프라 구축이 가장 필요한 것으로 분석됐다.

이어 법·제도 개선 요인의 하위요인인 저탄소항만 중장기 전략 수립 및 이행, 탄소중립 실현 이용사 인센티브 제공, 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행, AMP 사용 의무화 제도 도입이 5~7, 9위를 차지하여 탄소중립 구축을 위한 운영관리 효율화를 뒷받침할 법·제도의 개선이 중요한 것으로 나타났다.

또한 운영관리 효율화를 위한 친환경 항만 경영시스템 구축, 저속운항 프로그램 확대 운영, 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대, 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링 요인은 상대적으로 낮게 조사됐다.

표 10. 탄소중립 기반 광양항 컨테이너부두 실현을 위한 우선 요인의 중요도 및 우선순위

상위요인	하위 요인	요인 중요도	결합 중요도	우선순위
법·제도 개선 (0.333)	저탄소 항만 중장기 전략 수립 및 이행	0.254	0.084582	5
	AMP 사용 의무화 제도 도입	0.246	0.081918	9
	탄소중립 실현 이용사 인센티브 제공	0.251	0.083583	6
	탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행	0.250	0.083250	7
운영관리 효율화 (0.316)	친환경 항만 경영시스템 구축	0.260	0.082160	8
	저속운항 프로그램 확대 운영	0.248	0.078368	10
	탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대	0.247	0.078052	11
	항만 및 인근지역 온실가스 모니터링	0.245	0.077420	12
저탄소 인프라 구축 (0.351)	기존 하역장비 등 친환경 동력 전환	0.258	0.090558	1
	에너지 절감형 장비 및 시설물 도입	0.249	0.087399	3
	항만 신재생에너지 확대	0.250	0.087750	2
	광양만권 순환형 수소 공유망 구축	0.244	0.085644	4

V. 결론

본 연구에서는 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 요인을 분석하기 위하여 여수광양항만공사에서 실시한 임직원 및 항만 관계자들의 '여수광양항 탄소중립 관련 인식도 조사' 결과를 참고하였고, 기존 선행연구에서 탄소중립 항만에 대하여 분석하고 연구한 요인들을 참고하여 도입 요인을 도출한 후 광양항 컨테이너터미널의 실정 등을 고려하여 '광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 요인'을 최종적으로 도출하였다.

그 결과 제1계층 경쟁요인으로 ① 법·제도 개선 ② 운영관리 효율화 ③ 저탄소 인프라 구축 등 크게 3개 요인으로 분류하였다.

이어 제2계층 경쟁요인으로는 제1계층 경쟁요인별로 각각 4가지씩의 요인을 아래와 같이 12개 요인으로 구분하여 계층화분석 체계를 구성한 다음 광양항 관련 이용자 및 관련업계 전문가들을 대상으로 설문 조사를 실시하였다.

① 법·제도 개선 분야 : 저탄소 항만 중장기 전략 수립 및 이행, AMP 사용 의무화 제도 도입, 탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공, 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행

② 운영관리 효율화 분야 : 친환경 항만 경영시스템 구축, 저속운항 프로그램 확대 운영, 탄소중립 실무 조직 운영 및 교육 확대, 항만 및 인근 지역 온실가스 모니터링

③ 저탄소 인프라 구축 분야 : 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환, 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입, 항만 신재생에너지 확대, 광양만권 순환형 수소 공유망 구축

이어 설문 결과를 Fuzzy-AHP 실증분석을 통한 중요도 우선순위 평가를 실시한 결과 제1계층 상위요인의 상대적 중요도는 저탄소 인프라 구축(0.351), 법·제도 개선(0.333), 운영관리 효율화(0.316) 순으로 도출되어 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구

축을 위해서는 광양항 컨테이너터미널의 현실을 반영한 저탄소 인프라 구축을 먼저 고려해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

하위요인 12개 세부항목의 종합순위를 도출하기 위하여 상위요인의 중요도와 하위요인의 곱으로 복합가중치를 종합분석한 결과, 결합중요도가 가장 높은 요인은 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환(0.090558)이었으며 이어 2위 항만 신재생에너지 확대(0.087750), 3위 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입(0.087399), 4위 광양만권 순환형 수소 공유망 구축(0.085644), 5위 저탄소항만 중장기 전략 수립 및 이행(0.084582), 6위 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대(0.083583), 7위 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행(0.083250), 8위 친환경 항만 경영시스템 구축(0.082160), 9위 AMP 사용 의무화 제도 도입(0.081918), 10위 저속운항 프로그램 확대 운영(0.078368), 11위 탄소중립 실무조직 운영 및 교육 확대(0.078052), 마지막으로 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링(0.077420) 순으로 평가되었다.

이러한 분석결과를 종합하면, 상위요인의 중요도가 가장 높았던 저탄소 인프라 구축 요소의 하위요인인 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환, 항만 신재생에너지 확대, 에너지 절감형 장비 및 시설물 도입, 광양만권 순환형 수소 공유망 구축이 1~4위를 차지하여 광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위해서는 단계적으로 추진 및 실현이 가능한 저탄소 인프라 구축이 가장 필요한 것으로 분석되었다.

이어 법·제도 개선 요인의 하위요인인 저탄소항만 중장기 전략 수립 및 이행, 탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공, 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행, AMP 사용 의무화 제도 도입이 각각 5~7위, 9위를 차지하여 탄소중립 구축을 위한 운영관리 효율화를 뒷받침할 법·제도의 개선이 중요한 것으로 나타났다.

운영관리 효율화를 위한 친환경 항만 경영시스템 구축, 저속운항 프로그램 확대 운영, 탄소중립 실무

조직 운영 및 교육 확대, 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링 요인은 상대적으로 낮게 조사되었다.

광양항 컨테이너터미널이 글로벌 탄소중립항만으로 도약하는데 있어 결정요인 우선순위 분석을 통한 친환경 항만으로의 진입에 대한 시사점으로는 정부와 지자체, 항만운영 주체인 항만공사와 해운항만 관계기관이 참고해야 할 도입 결정요인의 객관적인 기준을 제시한 점과, 탄소중립 기반 광양항 컨테이너터미널의 성공적인 실현 가능성을 높이기 위해 관심을 가지고 집중해야 할 핵심 요인들을 확인하였다는 시사점이 있다.

다만 본 연구는 선행연구와 정책자료를 통한 요인의 도출에 한계점이 있다.

먼저, 요인 도출을 위한 정책자료의 선정 및 선행 연구에 있어 타 분야에 비해 관련 연구와 자료가 한정적이어서 해당 요인들을 다양하게 도출하기에는 어려움이 있었다.

특히 광양항 컨테이너터미널별 유류 사용량 및 전력소비량, 하역장비별 사용시간 및 가동률, 연료소비량 등에 따른 구체적인 온실가스 배출량 산출을 위한 연구 및 자료는 부족한 실정이다.

또한, 상위요인에 대한 중요도에 의하여 하위요인의 우선순위가 치우치는 경향이 있었으며 정부와 지자체, 항만운영 주체인 항만공사와 해운항만 관계기관 전문가의 의견을 충분히 반영하지 못했다는 한계점이 있다.

그리고 '탄소중립'은 온실가스 배출량을 줄이고, 흡수량을 늘여 순배출량이 '0'이 되는 것을 의미하지만 본 연구에서는 탄소 배출량을 줄이는 점에만 집중한 반면, 숲 복원, 블루카본 기술, 탄소제거기술 활용 등으로 흡수량을 증대하는 방안 등에 대해서는 언급되지 않은 한계점을 가지고 있다.

향후 연구에서는 전문가들을 대상으로 하는 요인 도출 및 연구 범위의 확대를 통한 국내 타 항만의 탄소중립 실현에 기여할 수 있는 연구가 필요하다.

또 컨테이너터미널별 탄소배출원을 구분하고 배출량

을 추정하기 위해서는 광양항 컨테이너터미널의 탄소 인벤토리 구축을 위한 명확하고 구체적인 기초 조사 및 연구가 필요하며, 중장기적인 로드맵 기반의 검증을 통해 세부적인 특정 요인을 다양한 측면으로 분석하여야 할 것이며, 항만에서의 온실가스 흡수를 위한 다양한 정책 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

김가현, 김찬호, 김우선, 서정용, 김성아, 김성기, 최상균 (2021), 스마트항만 구축에 따른 탄소저감효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -, 한국해양수산개발원, 25-39.

김근섭, 김세원, 안승현, 이주원, 한승훈, 이진우(2021), 항만에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구-부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로-, 한국해양수산개발원, 9-25.

김동윤, 신학승(2019), 해양 온실 가스 규제 동향에 따른 항만 및 해운 기업의 대응 방안에 관한 연구, 무역연구, 제15권 제1호, 508-509.

김세원(2024), 세계 주요 항만의 탄소중립 변화 동향, 석유산업 미래 전략 포럼, 아시아투데이.

김아영(2022), 광양항 항만시설물 개선 및 운영전략에 관한 연구, 순천대학교 박사학위 논문, 18-19.

문진영 외(2017), 온실가스 감축을 위한 국제사회의 탄소 가격제 도입과 경제영향 분석, 대외경제정책연구원 연구보고서 17-31, 128-140.

박광서 외(2021), 해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구, 한국해양수산개발원.

박홍균(2012), Fuzzy-AHP를 이용한 광양항 컨테이너부두 여유선석 활용대안 우선순위 분석, 한국항만경제학회지, 제28권 제2권, 29-41.

임소영, 강지현(2021), EU 핏포55가 국내 탄소중립 정책에 주는 시사점, 산업경제 8월 특집, 1-3.

송계의, 한철환(2007), 항만의 환경오염 저감방안에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 제23권 제1호, 95-113.

신광철(2018), 울산항 녹색항만(Green Port) 정책 재정립을 위한 개선방안 연구, 한국해양대학교 석사학위 논문, 37-39.

신종범(2022), 우리나라 컨테이너터미널의 ESG 경영 우선

- 순위 분석 연구, 순천대학교 박사학위 논문.
- 신춘진, 정현재(2020), 평택당진항의 친환경 항만 정책에 대한 수요자 인식 조사 연구, 무역보험연구, 제21권 제3호.
- 심창섭(2021), 미세먼지 통합관리 전략 수립 연구: 미세먼지 통합관리를 위한 정책지원 자료 구축, 한국환경연구원 사업보고서, 10-44.
- 안용성, 김주형, 안승현, 김성아, 이해령, 이향숙(2022), "항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구", 한국해양수산개발원, 1-6.
- 안용성, 육근형, 김대경, 이해영(2019), 국내 항만의 대기 오염물질 관리정책 및 제도 개선방안, 한국해양수산개발원, 52-71.
- 안승현, 김찬호, 강무홍, 김보경, 박민정(2022), 항만분야 탄소중립 관리체계 개선방안 연구, 한국해양수산개발원, 39-45.
- 염정훈, 김근하(2024), 국제해운 탄소중립을 위한 한미일 녹색해운항로, 기후솔루션 리포트.
- 윤동하, 김선구, 최용석(2013), 광양항 초대형 컨테이너선박 입항에 따른 대응방안 선정, 해운물류연구 제35권 제3호, 18-19.
- 윤동하, 최용석(2011), Fuzzy-AHP를 이용한 광양항과 중국항간의 물류네트워크 분석, 한국항만경제학회지 제27권 제4호, 91-107.
- 윤순진(2021), 한국의 2050 탄소중립 시나리오: 내용과 과제, 에너지포커스, 제18권 제4호, 18-23.
- 이민아, 이구용(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제고, GTC Focus, 제2권, 제5호.
- 이민우, 이향숙(2016), 선박 배기가스 배출량 및 환경비용 산출에 관한 연구: 부산항을 중심으로, 한국항만경제학회지, 제32권 제4호, 15-28.
- 이은창, 이슬기, 허선경(2022), 탄소중립을 위한 해양그린수소 육성전략, 월간 KIET 산업경제, 283, 37-52.
- 이지선(2022), 광양항 기후변화 대응 탄소중립 항만 구축방안, 한국해양대 석사학위 논문.
- 이현정, 이정욱, 이향숙(2020), AHP 기법을 활용한 친환경 항만정책의 도입 중요도 순위에 대한 연구, 물류학회지, 제30권 제6호, 121-131.
- 인천항만공사(2021), 2021 인천항만공사 지속가능경영보고서.
- 임미순, 박종흠, 안승범(2009), 녹색물류를 위한 탄소저감 정책 평가항목 우선순위에 관한 연구:항만 및 물류거점을 중심으로, 한국항만경제학회지, 제25권 제4호, 1-20.
- 임종섭(2010), 항만환경 규제에 따른 Green Port 구축 방안, 한국항해항만학회지, 제26권 제2호, 99-118.
- 장정희 외 4인(2008), 저탄소 항만 구축 방안에 관한 연구, 경기도.
- 전그린(2021), 항만지역 대기오염물질 배출규제 및 관리에 관한 연구, 부산대학교 석사학위 논문.
- 전그린, 이연승, 이양기(2024), 우리나라 항만 지역 대기오염물질 배출규제 및 관리의 문제점과 개선방안에 관한 연구, 경영건설팅연구, 제24권 제1호, 119-129.
- 정봉현(2009), 녹색성장시대에 환경친화적 항만관리정책의 발전방향: 광양항을 중심으로, 한국항만경제학회지, 제25권 제3호, 361-384.
- 정대원, 이용주(2018), 그린항만 구축을 위한 정책우선순위 평가 -부산항과, 인천항을 중심으로-, 해운물류연구, 제34권 제4호, 657-675.
- 조정정, 윤경준, 이향숙(2019), 선박에 기인한 대기오염물질 배출량 산정 연구-광양항과 울산항을 중심으로, 한국항만경제학회지, 제35권 제2호, 93-107.
- 최상희, 하태영, 원승환(2007), 국내 컨테이너 항만기술 로드맵 수립 연구-항만물류 및 장비기술을 중심으로, 한국항해항만학회지, 제33권 제3호, 199-206.
- 한철환(2011), 대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략, 한국항만경제학회지, 제27권 제1호, 281-304.
- 허정석(2022), 광양항의 자동화 컨테이너터미널 도입 결정 요인에 관한 연구, 순천대학교 박사학위 논문.
- 허철행(2017), 광양항 자유무역지역 활성화 방안에 관한 연구, 순천대학교 석사학위 논문.
- 홍현정 외(2022), 해양수송의 친환경·저탄소 전환에 따른 신형 해양오염사고 대비·대응 정책 연구, KEI 정책보고서 2022-06, 40-41.
- 기후솔루션(2023), 국내 항만 탈탄소화 제언: 5 대 항만을 중심으로, 산업 동향 브리프 No.3.
- 온실가스종합정보센터(2022), 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 환경부.
- 여수광양항만공사(2022), 여수광양항 대기환경 개선 추진 전략 수립 연구.
- 여수광양항만공사(2023), 여수광양항 탄소중립 항만 구축을 위한 기초자료 조사 및 추진체계 고도화 컨설팅.
- 해양수산부(2021), 제5차 해운산업 장기 발전계획(2021~2025), 제5차 해양환경 종합계획(2021~2030), 제1차 항만지역 등 대기질 개선 종합계획(2021~2025).

- 여수광양항만공사 홈페이지(www.ygpa.or.kr)
- 한국에너지공단(2021), 2050 탄소중립 전환 시나리오: 한국형 통합평가모형 분석, KEA 에너지 이슈 브리핑, 164호, 1-5.
- Acevedo, S. et al.(2020), The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?, *Journal of Macroeconomics*, 65(June), 1-21.
- Bernard, J. T., Kichian, M., & Islam, M.(2018), Effects of BC's Carbon Tax on GDP, USAEE research paper series, 18-329.
- Calel, R., & Dechezlepretre, A.(2016), Environmental policy and directed technological change: evidence from the European carbon market, *Review of economics and statistics*, 98(1), 173-191.
- Chang, Da Young(1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operations Research*, Vol. 95(3), 649-655.
- DP World, DPW 2021 ESG Report, 2021.
- European Commission(2021), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions : 'Fit for 55', COM(2021) 550 final.
- GL DNV(2020), Energy Transition Outlook 2021: Maritime Forecast to 2050, GL DNV.
- HMM(2021), ESG Report 2021.
- HutchisonPorts(2021), Building a Smart& Sustainable Port, Sustainability Report.
- IEA(2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA.
- IMO(2020), Marine Institute (VLIZ), Belgium.
- IPCC(2014), Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers, IPCC.
- IPCC(2018), Global Warming of 1.5 °C, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of, 1(5).
- Metcalf, G. E., & Stock, J. H.(2020), The macro-economic impact of Europe's carbontaxes, No. w27488, National Bureau of Economic Research.
- Peng W. et al.(2018), A simulation-based research on carbon emission mitigation strategies for green container terminals.
- Pindyck, R. S.(2013), Climate change policy: What do the models tell us?, *Journal of Economic Literature*, 51(3), pp. 860-872.
- Port of HAMBURG, <https://www.hafen-hamburg.de/en/homepage/>
- Wan, Z. et al.(2018), Decarbonizing the international shipping industry: Solutions and policy recommendations, *Marine Pollution Bulletin*, 126, pp. 428-435.
- Wang, Z. et al.(2017), Integrated assessment models of climate change economics. Springer.
- Zhong et al.(2019), Carbon emissions reduction in China's container terminals: Optimal strategy formulation and the influence of carbon emissions trading.

광양항 컨테이너터미널의 탄소중립 구축을 위한 요인분석 연구

은용주 · 최용석

국문요약

본 연구는 광양항 컨테이너터미널이 탄소중립을 기반으로 한 친환경 항만으로 거듭나기 위하여 우선적으로 고려해야 할 결정요인의 상대적 중요도를 규명하는 것을 목적으로 진행하였다.

이를 위해 3개의 상위 결정요인과 12개의 하위 결정요인을 도출하여 해운항만 전문가 및 항만 이용자들을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 퍼지계층화분석(Fuzzy- Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하여 우선순위를 파악하였다.

그 결과 상위 우선요인 3개의 중요도는 저탄소 인프라 구축, 법제도 개선, 운영관리 효율화 순으로 평가되었다.

상위요인의 중요도와 하위요인의 곱으로 산정한 복합가중치 분석 결과 12개 하위계층 요인의 종합적인 결합중요도는 ① 기존 하역장비 등 친환경 동력 전환이 가장 높았으며 이어 ② 항만 신재생에너지 확대 ③ 에너지절감형 장비 및 시설물 도입 ④ 광양만권 순환형 수소 공유망 구축 ⑤ 저탄소 항만 중장기 전략 수립 및 이행 ⑥ 탄소중립 실현 이용자 인센티브 제공 ⑦ 탄소부담금 제도 등 규제 조치 시행 ⑧ 친환경 항만 경영시스템 구축 ⑨ AMP 사용 의무화 제도 도입 ⑩ 저속운항 프로그램 확대 운영 ⑪ 탄소중립 실무 조직 운영 및 교육 확대 ⑫ 항만 및 인근지역 온실가스 모니터링 등의 순이었다.

본 연구는 광양항 컨테이너터미널이 글로벌 탄소중립 항만으로 도약하는데 있어 결정요인 우선순위 분석을 통해 기초적인 근거와 토대를 제공하였으며 정부와 지자체, 항만 관리운영 주체인 항만공사와 해운항만 관계기관이 참고해야 할 도입 결정요인의 객관적인 기준을 제시하였다.

주제어 : 탄소중립, 광양항, 컨테이너터미널, 요인분석, 퍼지계층화분석