기본연구 2020-20

스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구

A Study on Strategy for the Connected Development of Smart Ports and Smart Cities

이언경 • 이기열 • 강무홍 • 서정용 • 김효재 • 이성우

2020. 12.

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자 **이언경, 이기열, 강무홍, 서정용, 김효재, 이성우**

연구진

연구책임자 **이언경** 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구위원
공동연구원 **이기열** 한국해양수산개발원 항만연구본부 부연구위원
공동연구원 **강무홍** 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원
공동연구원 **서정용** 한국해양수산개발원 항만연구본부 전문연구원
공동연구원 **김효재** 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구원
공동연구원 **이성우** 한국해양수산개발원 종합정책연구본부 선임연구위원

연구기간 2020. 1. 1. ~ 2020. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자

이언경 연구총괄, 제1장, 제2장 제1절, 제2절 일부, 제4장 제1절 일부, 제2절~제4절, 제5장 제1절, 제6장 제1절, 제2절 일부
이기열 제3장 제1절
강무홍 제2장 제2절 일부, 제3장 제2절, 제5장 제2절, 제6장 제2절 일부
서정용 제3장 제3절~제4절, 제5장 제3절
김효재 제4장 제1절 일부
이성우 제6장 제2절 일부

산·학·연·정 연구자문위원

박선정 부산항만공사 부장
안병수 부산항만공사 차장
이상혁 리치엘 팀장
구보람 전남대학교 교수
김 정 인천대학교 교수
김춘선 인하대학교 교수
배종욱 전남대학교 교수
서영준 경북대학교 교수
이건우 한양대학교 교수
이한석 한국해양대학교 교수
이재용 국토연구원 센터장
Byungkwon Lee National University of Singapore Research Fellow
허윤수 부산연구원 선임연구위원
추윤식 해양수산부 사무관

※순서는 산·학·연·정 순임

발간사

현재 항만도시의 모습은 유기체의 생명진화와 유사하게 지난 수천 년간 인류가 이루어낸 정치·경제·사회·문화적인 요소 등이 성장, 발전, 진화한 산물이다. 항만도시는 하나의 살아있는 유기체와 유사해서 항만과 도시가 별개로 각자의 목적하에 개발·발전되면 시간이 흐름에 따라 항만과 도시 모두 제 기능을 하기가 어려워진다. 그런데 우리나라 항만도시는 관리주체가 상이하여 항만도시 관점이 아닌 항만계획과 도시계획 등의 정책이 따로 수립·적용되었다. 이로 인하여 현재 우리나라 항만도시는 물류 연계에 있어 비효율성이 발생하고 있고, 항만의 미세먼지가 도시로 확산됨에도 불구하고 영향정도 및 원인 분석 등이 부족하며, 항만도시의 지속가능 발전 관점에서의 에너지 수급계획 마련도 미흡하다.

4차 산업혁명 기술 가시화, 코로나19 대유행으로 인한 전 산업 분야의 디지털 전환 가속화로 항만도시의 스마트화도 진행되고 있다. 독일, 네덜란드, 싱가포르 등의 해외 주요 항만도시들은 스마트항만을 중심으로 해상에서 내륙까지 정보를 연계하고 항만과 도시를 공통의 목적하에 통합적으로 연계·협력하여 다음 세대를 위한 지속가능한 발전을 실현하고자 하고 있다. 이와 달리 우리나라의 스마트항만, 스마트시티 정책은 각각의 개별 프로젝트를 진행하고 있어 현재 항만도시가 안고 있는 물류효율성 문제, 환경문제, 에너지 수급 문제, 항만도시 재생 문제 등을 해결하기에는 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 스마트기술을 접목해 항만과 도시가 상충되는 개념이 아니라 지속적인 성장 관점에서 공생 발전하도록 하는 방안 및 공감대 마련이 필요하다. 이에 본 연구에서는 항만도시의 연계 필요성을 제시하기 위해 항만도시 정보연계에 따른 물류효율성 개선 여부, 선박 기인 미세먼지의 도시 영향정도, 신재생에너지를 이용한 항만도시 에너지 수급 방향, 항만도시민이 살고 싶은 지속가능한 스마트 항만도시의 모습까지 제시하였다. 이 연구가 스마트기술을 활용한 항만도시 연계 발전 필요성의 공감대가 형성되는 계기가 되고, 기술이 기술로 끝나지 않고 항만도시의 혁신역량으로 작용할 수 있도록 하는 관련 기관들의 협동연구의 시작점이 되었으면 한다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 항만연구본부의 이언경 연구위원과 연구진인 이성우 선임연구위원, 이기열 부연구위원, 강무홍 전문연구원, 서정용 전문연구원, 김효재 연구원의 노고에 깊은 감사를 표한다. 아울러 이 연구에 자문과 조언을 아끼지 않은 경북대학교 서영준 교수, 전남대학교 배종욱 교수, 해양수산부 추윤식 사무관께 깊은 감사를 드린다. 끝으로 이 보고서의 감리를 맡아 적절한 지적과 조언으로 완성도를 높여 주신 우리 원의 김종덕 부원장, 김대영 본부장, 최상희 본부장, 김형태 명예연구위원과 이 보고서가 출판되기까지 도움을 주신 모든 분께 이 자리를 빌려 감사를 드린다.

2020년 12월

한국해양수산개발원

원장 **장 영 태**

목차

요 약 i

Executive Summary xiii

제 1장 서론 1

제1절 연구의 필요성 및 목적 1

1. 연구의 배경 및 필요성 1
2. 연구목적 및 주요 내용 6

제2절 선행연구 검토 및 차별성 8

1. 선행연구 분석 8
2. 기존 연구와의 차별성 14

제3절 연구수행 방법론 15

제 2장 항만과 도시의 관계 및 외부환경 변화 21

제1절 항만과 도시성장의 관계 21

제2절 항만도시의 스마트기술 적용 변화 31

1. 스마트기술 31
2. 항만 관련 스마트기술 발전 동향 35
3. 항만도시 관련 스마트기술 발전 동향 40
4. 소결 46

제 3장 항만도시의 연계 현황 및 특징 51

제1절 항만도시의 교통흐름 현황 및 문제점 51

1. 항만도시 교통혼잡·도로 유지보수 현황 및 문제 51
2. 스마트항만과 스마트시티의 물류 흐름 개선 60

제2절 항만도시 환경오염 관리현황 및 문제점 68
1. 항만 기인 항만도시 환경오염물질 68
2. 항만도시 대기질 및 수질 개선 문제점 75
제3절 항만도시의 에너지 관리 현황 및 문제점 80
1. 항만과 도시의 에너지 사용 현황 80
2. 항만과 도시의 에너지 문제와 절약 니즈 88
제4절 해외 항만-도시 연계 사례 92
1. 항만-도시 교통흐름 연계 사례 92
2. 항만-도시의 지속가능 발전 사례 96
3. 싱가포르 전문가의 스마트항만-도시연계 의견 104

제 4장 한국형 스마트 항만도시 개념 정립 및 발전 방향 113
제1절 항만도시의 유형화 113
1. 상대적집중도지수(RCI)에 따른 항만도시 유형화 115
2. 입지계수(LQ)에 따른 스마트 항만도시 유형화 123
제2절 스마트 항만도시 구성요소 정의 134
1. 스마트 항만도시 구성요소 추출 방법 134
2. 스마트 항만도시를 구성하는 속성 정의 142
제3절 한국형 스마트 항만도시 선호도 분석 144
1. 선호도 분석 설문설계 144
2. 설문 설계 및 분석 방법론 145
3. 설문 분석결과 154
제4절 한국형 스마트 항만도시 연계 발전 방향 164

제 5장 스마트 항만도시 연계관리 효과 분석 175
제1절 항만도시 교통 및 공간 개선 효과 175
1. 개요 175
2. 시뮬레이션 기반 항만도시 교통 흐름 분석 모델 176
3. 항만-도시 정보연계 효과 분석 179
4. 소결 189

제2절 항만 배출 미세먼지 관리방안 및 감축 효과 190
1. 개요 190
2. 항만도시의 미세먼지 배출량 분석 191
3. 항만도시의 대기오염 영향 분석 194
4. 항만도시의 스마트 미세먼지 관리 기술 및 감축 효과 200
제3절 스마트 항만도시의 에너지 그리드 구축 효과 207
1. 태양광을 활용한 에너지 생산기술과 그리드 207
2. 풍력을 활용한 에너지 생산기술과 그리드 209
3. 해조류를 활용한 에너지 생산기술과 그리드 211
4. 가축분뇨를 활용한 에너지 생산기술과 그리드 215
5. 소결 219

제 6장 결론 및 정책제언 221
제1절 결론 221
1. 연구결과 요약 221
2. 연구의 한계점 226
제2절 정책제언 228
1. 스마트 항만도시 통합운영체계 구축 229
2. 스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성방안 235
3. 스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 및 추진방안 마련 241

참고문헌 253

부록 265

표목차

〈표 1-1〉 항만물동량/인구증감에 따른 항만도시 개발유형 ····· 2
〈표 1-2〉 선행연구 분석 ····· 10
〈표 1-3〉 기존 연구와의 차별성 ····· 14
〈표 1-4〉 주요 연구내용 및 수행방법 ····· 18
〈표 2-1〉 Hoyle의 항만도시 성장모델 ····· 24
〈표 2-2〉 가트너 공급사슬의 스마트기술(2020년) ····· 32
〈표 2-3〉 싱가포르항 스마트항만 추진 목표별 프로젝트 ····· 37
〈표 2-4〉 일본 PORT 2030의 목표 및 전략 ····· 39
〈표 2-5〉 해외 스마트도시 적용 사례 ····· 42
〈표 2-6〉 함부르크항 SMARTPORT의 목표 및 추진과제 ····· 43
〈표 2-7〉 로테르담항 SmartPort 플랫폼의 목표 및 추진과제 ····· 46
〈표 2-8〉 국가별 스마트항만 추진내용 종합 ····· 49
〈표 3-1〉 국내 교통혼잡비용 추이 ····· 53
〈표 3-2〉 국내 주요 항만도시 차량등록수 및 도시부 교통혼잡비용 추이 ····· 53
〈표 3-3〉 화물차 차종구분과 승용차 환산계수 ····· 54
〈표 3-4〉 국내 주요 도시 대형화물차 등록 비중(2020. 4 기준) ····· 54
〈표 3-5〉 국내 항만배후도로의 항만차량 비율 ····· 55
〈표 3-6〉 항만 기인 교통체증 완화방안 선행연구 ····· 57
〈표 3-7〉 스마트시티 핵심 구성요소 ····· 61
〈표 3-8〉 통합 모빌리티 서비스 사례 ····· 62
〈표 3-9〉 시간대별 대기확산 패턴 ····· 71
〈표 3-10〉 이동오염원별 대기오염물질 배출량(2016년) ····· 71
〈표 3-11〉 재생가능에너지 OECD 기준 분류표 ····· 81
〈표 3-12〉『수소 기술개발 로드맵』 추진체계 ····· 85
〈표 3-13〉 스마트그리드 적용 전후 비교 ····· 91
〈표 3-14〉 싱가포르항의 인센티브 ····· 96
〈표 3-15〉 응답자별 조직 및 직책 ····· 104
〈표 4-1〉 세계 20대 항만의 컨테이너 물동량 ····· 118
〈표 4-2〉 세계 20대 항만도시의 인구 ····· 119
〈표 4-3〉 세계 20대 항만의 RCI 지수 비교 ····· 120

〈표 4-4〉 표준산업분류기준 항만산업(5디지트 기준) ····· 124
〈표 4-5〉 표준산업분류기준 데이터산업(5디지트 기준) ····· 125
〈표 4-6〉 우리나라 주요 항만도시의 항만산업 및 데이터산업 고용자 수 ····· 127
〈표 4-7〉 표준산업분류기준 항만산업과 데이터산업(2디지트 기준) ····· 129
〈표 4-8〉 유럽과 한국의 항만산업과 데이터산업 고용자 수 ····· 130
〈표 4-9〉 유럽과 한국 항만도시의 항만산업 및 스마트항만산업 LQ 지수 ····· 132
〈표 4-10〉 국가경쟁력지수 4.0의 12개 분야 ····· 135
〈표 4-11〉 스마트항만 구성요소 추출을 위한 데이터 ····· 137
〈표 4-12〉 스마트 항만도시를 나타내는 구성요소에 대한 다중회귀분석 결과 ·· 139
〈표 4-13〉 상관관계 분석결과 ····· 141
〈표 4-14〉 스마트항만 키워드 및 스마트 항만도시 변수 ····· 142
〈표 4-15〉 스마트 항만도시 구성속성 키워드 정의 ····· 143
〈표 4-16〉 응답자 특성 ····· 144
〈표 4-17〉 스마트 항만도시 개념 속성 상대적 선호도 평가를 위한 계층구조 ··· 146
〈표 4-18〉 한국형 스마트 항만도시 선호도 조사를 위한 속성 및 수준 ····· 148
〈표 4-19〉 설문조사 예시(컨조인트 카드) ····· 150
〈표 4-20〉 스마트항만 인지 여부 ····· 154
〈표 4-21〉 항만도시 개발 방향 선호도 ····· 154
〈표 4-22〉 스마트 항만도시 거주 의사 ····· 155
〈표 4-23〉 스마트 항만도시 개발 방향 선호도 ····· 155
〈표 4-24〉 스마트 항만도시 개념 대분류(1계층) 선호도 ····· 156
〈표 4-25〉 안전하고 인간중심의 항만도시 소분류(2계층) 선호도 ····· 156
〈표 4-26〉 쾌적하고 지속가능한 항만도시 소분류(2계층) 선호도 ····· 157
〈표 4-27〉 초연결·자율화된 항만도시 소분류(2계층) 선호도 ····· 158
〈표 4-28〉 효율적인 항만도시 소분류(2계층) 선호도 ····· 158
〈표 4-29〉 항만도시민의 스마트 항만도시 개념 선호도 결과 ····· 159
〈표 4-30〉 중첩로짓모형의 추정결과 ····· 161
〈표 4-31〉 속성별 MWTP 추정결과 ····· 162
〈표 4-32〉 한국형 스마트 항만도시 건설의 속성별 연간 비시장가치 추정결과 · 163
〈표 4-33〉 한국형 스마트 항만도시 건설 시나리오별 비시장가치 추정결과 ····· 164
〈표 5-1〉 ODCY 트럭 생성간격 정의 ····· 178
〈표 5-2〉 시나리오 설정내역 ····· 179
〈표 5-3〉 시나리오 설정내역 ····· 181
〈표 5-4〉 시나리오 설정내역 ····· 185

〈표 5-5〉 스마트항만-도시 물류효율성 관련 정보연계 예시 ····· 189
〈표 5-6〉 부산항 선박 배기가스 배출량 추정결과 ····· 194
〈표 5-7〉 항만도시의 스마트 미세먼지 관리기술 감축 효과(부산 기준) ····· 201
〈표 5-8〉 AMP 적용 전·후 최대평균 미세먼지 농도 비교 ····· 202
〈표 5-9〉 태양광 에너지 조건 및 가정 ····· 209
〈표 5-10〉 풍력 에너지 조건 및 가정 ····· 210
〈표 5-11〉 해수 단위 부피당 바이오매스 및 에너지 함량 ····· 214
〈표 5-12〉 상단 공정에서의 에너지 소비량 ····· 214
〈표 5-13〉 직접연소([B] 공정)와 가스화([A] 공정) 공정을 통한 전력량 비교 ··· 215
〈표 5-14〉 가축분뇨 바이오가스 및 에너지 함량 ····· 218
〈표 5-15〉 가스화 공정 기반 가축분뇨의 바이오연료 에너지 효율 계산결과 ····· 218
〈표 6-1〉 항만, 도시, 항만도시의 정책목표 설정 ····· 230
〈표 6-2〉 스마트 항만도시 통합운영 체계 구축 추진주체 및 로드맵 ····· 235
〈표 6-3〉 스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성 추진주체 및 로드맵 · 240
〈표 6-4〉 스마트도시법 개정안 ····· 249
〈표 6-5〉 스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 등의 추진주체 및 로드맵
····· 251

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구수행 흐름도 ····· 20
〈그림 2-1〉 Bird의 항만성장모델(Anyport Model) ····· 22
〈그림 2-2〉 Rimmer의 항만성장모형 ····· 23
〈그림 2-3〉 Norcliffe의 항만과 도시의 관계 변화 ····· 25
〈그림 2-4〉 Notteboom and Rodrigue의 항만도시 성장단계 ····· 26
〈그림 2-5〉 Rodrigue and Nottebome의 항만지역화 ····· 27
〈그림 2-6〉 북미, 서유럽, 아시아 지역의 배후지 발전형태 차이 ····· 28
〈그림 2-7〉 서유럽 및 아시아 항만도시 발전모델 차이 ····· 29
〈그림 2-8〉 항만도시 연계 발전요인 ····· 30
〈그림 2-9〉 스마트시티의 기술적 프레임워크 ····· 34
〈그림 2-10〉 5G 기반 스마트 교통시스템 프레임워크 ····· 35
〈그림 2-11〉 일본 PORT 2030 추구 인공지능 터미널 ····· 40
〈그림 2-12〉 우리나라 U-City 분포 (2012년 12월 기준) ····· 41
〈그림 2-13〉 HPA 해상드론 ····· 44
〈그림 2-14〉 HPA 항만 도로관리시스템 화면 ····· 44
〈그림 3-1〉 함부르크 Smart Port Logistics ····· 64
〈그림 3-2〉 인천항 '컨'터미널 싱글윈도우 모바일 서비스 화면 ····· 65
〈그림 3-3〉 부산항만공사 물류공동포탈서비스(ChainPortal) 메인화면 ····· 66
〈그림 3-4〉 광양항 '컨'터미널 혼잡정보 제공 LED 전광판 ····· 67
〈그림 3-5〉 선박 배출 PM2.5로 인한 심폐질환 사망자 분포 ····· 69
〈그림 3-6〉 선박 기인 인천항 온실가스 배출량 ····· 70
〈그림 3-7〉 AMP 개념도 ····· 72
〈그림 3-8〉 LA항 AMECS 시스템 ····· 73
〈그림 3-9〉 한국해양과학기술원 이동실험실 ····· 74
〈그림 3-10〉 부산항 도입 e-RTGC(좌) 및 LNG YT(우) ····· 76
〈그림 3-11〉 유럽(좌) 및 아시아(우) 스마트시티 중점 추진분야 ····· 78
〈그림 3-12〉 2030년 목표 에너지 비중 및 달성 방안 ····· 84
〈그림 3-13〉 수상태양광 발전 원리 ····· 86
〈그림 3-14〉 수상태양광 ····· 87
〈그림 3-15〉 롱비치항 정전사태 ····· 90

〈그림 3-16〉 우리나라 시간대별 에너지 니즈 ····· 91
〈그림 3-17〉 일본 스마트시티 개념도 ····· 93
〈그림 3-18〉 항만-철도-공항을 연결하는 보행자 데크 개념도 ····· 94
〈그림 3-19〉 EPIC 2020 개념도 ····· 99
〈그림 3-20〉 EPIC 2020 Mantova 자원 흐름 ····· 100
〈그림 3-21〉 EPIC 2020 Malmö 자원 흐름 ····· 100
〈그림 3-22〉 EPIC 2020 Wismar 자원 흐름 ····· 101
〈그림 3-23〉 EPIC 2020 Akarport 자원 흐름 ····· 101
〈그림 3-24〉 가고시마 태양광 ····· 102
〈그림 3-25〉 제미니 해상풍력 대상지 전경 ····· 103
〈그림 3-26〉 풍력발전기 설치 개념도 ····· 104
〈그림 3-27〉 인터뷰 결과: 스마트항만의 동인 ····· 105
〈그림 3-28〉 인터뷰 결과: 스마트도시의 동인(1) ····· 106
〈그림 3-29〉 인터뷰 결과: 스마트도시의 동인(2) ····· 107
〈그림 3-30〉 인터뷰 결과: 스마트항만과 도시의 연계 동인 ····· 108
〈그림 3-31〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 교통혼잡 절감 효과 ····· 108
〈그림 3-32〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 항만혼잡 절감 효과 ····· 109
〈그림 3-33〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 선박배출 절감 효과 ····· 110
〈그림 3-34〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 지속가능 발전 효과 ····· 110
〈그림 3-35〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 거주적합성 개선 효과 ····· 111
〈그림 3-36〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 에너지 효율 개선 효과 ····· 112
〈그림 4-1〉 항만물동량과 도시규모 변화에 따른 항만도시의 유형화 ····· 115
〈그림 4-2〉 RCI 기준 유럽과 아시아 항만도시의 네 가지 분류 ····· 116
〈그림 4-3〉 RCI에 따른 항만도시의 유형화 ····· 117
〈그림 4-4〉 RCI 기준 스마트항만 ····· 121
〈그림 4-5〉 물동량과 인구비중에 따른 항만도시 유형 분류 ····· 122
〈그림 4-6〉 우리나라 항만도시의 LQ 지수 변화 ····· 128
〈그림 4-7〉 바르셀로나항의 스마트항만 정책 및 기술 비전 ····· 131
〈그림 4-8〉 우리나라와 유럽 항만도시의 스마트 항만도시 특화수준 비교 ····· 133
〈그림 4-9〉 한국형 스마트 항만도시 발전 방향 ····· 167
〈그림 4-10〉 한국형 스마트항만과 스마트도시 연계 개념도 ····· 170
〈그림 4-11〉 한국형 스마트 항만도시 협력 생태계 조성 ····· 171
〈그림 4-12〉 한국형 스마트 항만도시의 스마트화 강화 ····· 172
〈그림 4-13〉 한국형 스마트항만과 스마트도시 연계 운영방안 ····· 173

〈그림 5-1〉 시뮬레이션 개발 예시 ····· 177
〈그림 5-2〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 도착정보 미공유 시나리오 ····· 180
〈그림 5-3〉 시뮬레이션 결과 – 트럭도착정보 공유 시나리오 ····· 180
〈그림 5-4〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만 ····· 182
〈그림 5-5〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만 게이트 트럭 대기시간 ····· 182
〈그림 5-6〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만 시간별 트럭 통과시간 ····· 183
〈그림 5-7〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만 ····· 183
〈그림 5-8〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만 게이트 트럭 대기시간 ····· 184
〈그림 5-9〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만 시간별 트럭 통과시간 ····· 184
〈그림 5-10〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족 ····· 186
〈그림 5-11〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족(대기대수) ····· 186
〈그림 5-12〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족(대기시간/1대) ····· 187
〈그림 5-13〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보 ····· 187
〈그림 5-14〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보(대기 대수) ····· 188
〈그림 5-15〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보(대기시간/1대) ····· 188
〈그림 5-16〉 부산지역 구역별 선박 연료소모량 추정결과(전체) ····· 192
〈그림 5-17〉 부산지역 구역별 선박 연료소모량 추정결과(정박 및 묘박) ····· 193
〈그림 5-18〉 CALPUFF 모델링 구조 ····· 196
〈그림 5-19〉 대기확산분석 적용 범위 ····· 196
〈그림 5-20〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 1월) ····· 197
〈그림 5-21〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 4월) ····· 198
〈그림 5-22〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 7월) ····· 199
〈그림 5-23〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 10월) ····· 200
〈그림 5-24〉 항만도시의 스마트 미세먼지 관리기술 감축 효과(부산 기준) ····· 202
〈그림 5-25〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 1월) ····· 203
〈그림 5-26〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 4월) ····· 204
〈그림 5-27〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 7월) ····· 205
〈그림 5-28〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 10월) ····· 206
〈그림 5-29〉 태양광 에너지 생산공정 개략도 ····· 208
〈그림 5-30〉 해조류 에너지 생산공정 개략도 ····· 213
〈그림 5-31〉 가축분뇨를 활용한 전력 생산공정 개략도 ····· 218
〈그림 6-1〉 정책제언 추진 로드맵 및 연관성 ····· 228
〈그림 6-2〉 항만의 라이프사이클에 따른 재개발 방식 ····· 231
〈그림 6-3〉 스마트 항만도시 구축 다부처 협력위원회 및 업무추진도 ····· 232

〈그림 6-4〉 스마트 항만도시 정보연계 플랫폼 체계도 ····· 234
〈그림 6-5〉 스마트 항만도시 관련 장비 및 정보시스템 기업 육성방안 ····· 240

약어 목록

※ 알파벳 순

5G(5세대): Fifth Generation

AGV(자율주행차량): Automated Guided Vehicle

AHP(계층화분석법): analytic hierarchy process

AI(인공지능): Artificial Intelligence

AIS(선박자동식별장치): Auto Identification System

AMP(육상전원공급장치): Alternative Maritime Power

BFO(연료유): Bunker Fuel Oil

BMS(베터리관리시스템): Battery Management System

CO_2(이산화탄소): Carbon Dioxide

CVM(조건부 가치측정법): Contingent Valuation Method

DIVA: Dynamic Traffic Volume Information System

ECA(배출규제해역): Emission Control Area

ECT: Europe Container Terminal

EEA(유럽환경청): European Environment Agency

EGR(배기재순환장치): Exhaust Gas Recirculaton

EPIC 2020: Symbiotic bio-Energy Port Integration with Cities by 2020

ESS(에너지저장시스템): Energy Storage System

GPS: Global Positioning System

HFO(중유): Heavy Fuel Oil

HPA (함부르크항만공사): Hamburg Port Authority

ICT(정보통신기술): Information and Communication Technology

IEA(국제에너지기구): International Energy Agency

IoT(사물인터넷): Internet of Things

LED: Light Emitting Diode

LPI(물류성능지수): Logistics Performance Index

LQ(입지계수): Location Quotient

M2M(사물통신): Machine to Machine

MDO(선박디젤유): Marine Diesel Oil

MWTP(한계별지불의사액): Marginal Willingness-To-Pay

NGP 2030: Next Generation Port 2030

NL(중첩로짓모형): Nested Logit Model

NMVOC (비메탄계 휘발성 유기화합물): Non-Methane Volatile Organic Compound

NOx(질소산화물): Nitrogen Oxide

OSC(유기태양전지): Organic Solar Cell

PCS(전력변환장치): Power Conversion System

PM(미세먼지): Particular Matter

PMS(전력관리시스템): Power Management System

RCI(상대적 집중도 지수): Relative Concentration Index

RMGC: Rail-mounted Gantry Crane

RWG: Rotterdam World Gateway

SCR(선택적촉매환원장치): Selective Catalytic Reduction

SOx(황산화물): Sulfur Oxide

STP(표준 온도와 압력): Standard Temperature and Pressure

USN: Ubiquitous Sensor Network

VTMS: Vessel Traffic Management System

WEF(세계경제포럼): World Economic Forum

요약

스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구

1. 연구의 목적

▸ 본 연구는 항만도시민의 삶의 질 향상뿐만 아니라 항만의 지속적인 발전을 고려한 한국형 스마트 항만도시 개념을 정립하고 구축 효과를 제시하여 스마트 항만도시 건설·운영 필요성에 대한 공감대 형성을 목적으로 함

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구의 방법

▸ 본 연구는 문헌조사, 전문가 자문, 설문조사, 통계분석, 계량경제모형 분석, 시뮬레이션 분석, 대기확산 분석 등을 통하여 스마트 항만도시 구성속성 및 개념 정의, 스마트 항만도시 선호도 분석, 스마트 항만도시 구축 효과를 제시함

- 첫째, 항만도시 성장이론 및 다양한 통계 데이터를 기반으로 스마트 항만도시 구성속성을 정의하고, 둘째, 대국민 설문조사를 통해 스마트 항만도시에 대한 선호도와 가치를 평가하며, 셋째, 시뮬레이션과 대기확산 분석 등을 통해 스마트 항만도시 구축에 대한 효과를 제시함

〈표〉 주요 연구내용 및 수행방법

구분	주요 연구내용	연구방법
항만도시 연계 발전 필요성	• 항만도시 성장모형 분석 및 항만도시 관련 스마트기술 분석	• 국내외 문헌조사
	• 국내외 항만도시 연계 특징 분석	• 국내외 문헌조사 • 전문가 자문 및 싱가포르 전문가 설문
스마트 항만도시 구성속성 및 개념 정의	• 항만도시 유형 분류	• 20대 항만 물동량 및 항만도시 인구(2015~2019년) • RCI(Relative Concentration Index) 지수
	• 항만도시의 스마트화 수준 비교	• 비교대상국의 표준산업분류 종사자 수(2015~2017년) • LQ(Location Quotient) 지수
	• 스마트 항만도시 개념 속성 추출	• 국가경쟁력지수, 물류성능지수, 컨테이너물동량, 자동화 여부 데이터(2018년 기준), 6개 선진 스마트항만의 프로젝트 기반 그룹핑 결과 • 회귀분석, 상관관계 분석
스마트 항만도시 선호도 분석 및 가치 평가	• 스마트항만 인지 여부 및 항만도시 개발 방향	• 대국민 의식 설문조사
	• 스마트 항만도시 건설 속성에 대한 선호도 조사	• 대국민 AHP 분석
	• 스마트 항만도시의 구성속성별 가치평가	• 비시장가치평가 설문조사 • 컨조인트 분석, WTP(willingness-to-pay) • Logit Model
스마트 항만도시 구축 효과	• 항만과 도시의 정보연계 및 통합계획에 따른 물류효율성 개선 효과	• 문헌조사 및 전문가 자문 • 시뮬레이션 분석
	• 스마트 미세먼지 관리 효과	• 문헌조사 및 전문가 자문 • AIS 기반 연료소모량 추정 • 대기확산 분석(CALPUFF)
	• 항만도시 신재생에너지 활용 가능성	• 문헌조사 및 전문가 자문 • 신재생에너지(태양광, 풍력, 해조류, 가축분뇨) 생산량 추정

2) 연구의 특징

▸ 본 연구는 데이터를 기반으로 항만도시 유형화 및 스마트화 정도를 비교했고, 한국형 스마트 항만도시 구축을 위해 개념 속성별 항만도시민의 선호도 및 가치를 조사했으며, 항만과 도시가 연계된 스마트 항만도시 구축·운영 공감대 형성을 위해 정량적 효과를 제시함

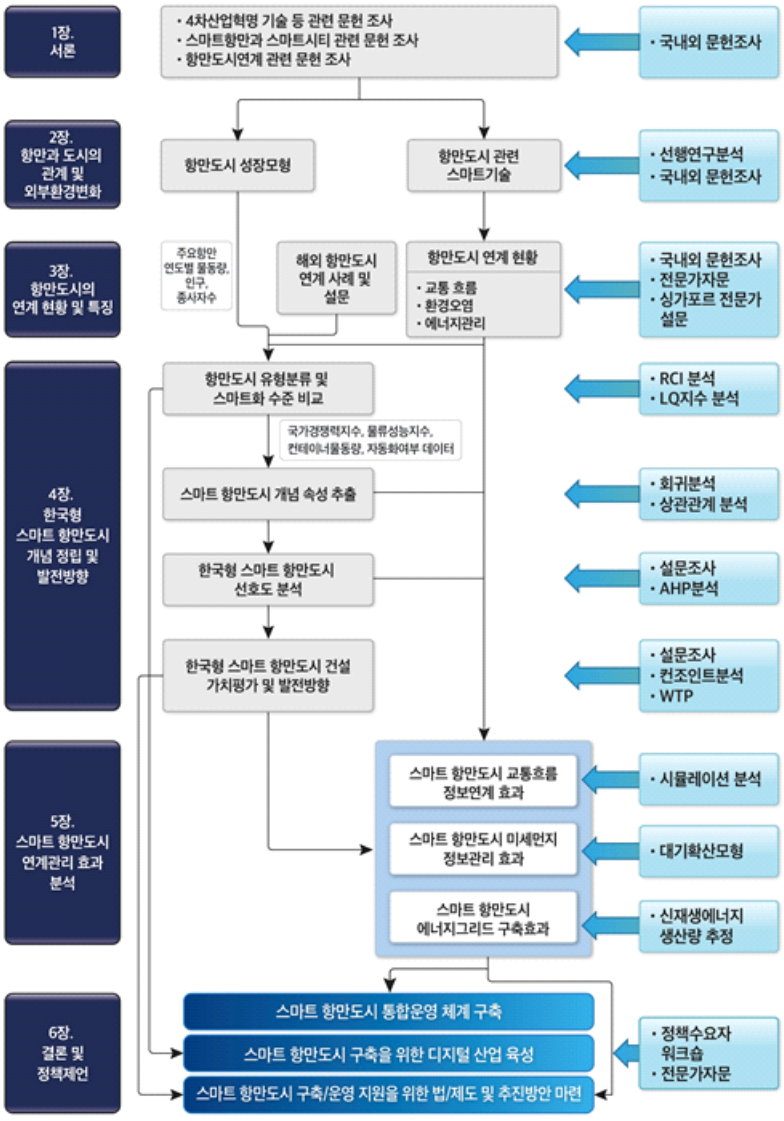
- 선박기인 미세먼지의 항만도시 영향을 분석하기 위해 ⅰ) Lakes environmental software의 부산시 인근지역 2019년 기후데이터(100km ×100km), ⅱ) IHS Markit의 2019년 전 세계 컨테이너 선박의 AIS 데이터를 활용함

- 항만도시 유형 분류를 위해 ⅰ) UN의 세계인구 통계와 말레이시아, 태국 등의 국가별 인구통계, ⅱ) Alphaliner의 2019년 컨테이너 물동량과 Lloyd's List의 컨테이너 물동량(2015~2018년) 데이터를 사용함

- 항만도시의 스마트화 수준을 비교하기 위하여 ⅰ) Eurostat의 전국 및 도시별 종사자수(2015~2017년), ⅱ) 통계청의 전국 사업체 조사 데이터(를 활용했음

- 스마트항만도시 개념 속성을 추출하기 위해 ⅰ) 세계경제포럼(WEF)의 국가경쟁력지수(2018년), ⅱ) 세계은행(World Bank)의 물류성능지수(2018년), ⅲ) Lloyd's List의 세계 100대 항만의 컨테이너물동량(2018년), ⅳ) Drewry와 Review of Maritime Transport의 자동화터미널 현황(2018년) 데이터를 활용했음

〈그림〉 연구 흐름도



자료: 저자 작성

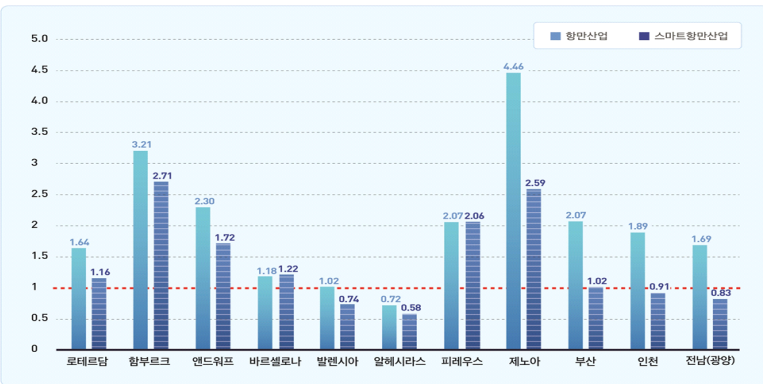
3. 연구결과

1) 연구결과 요약

▸ 연도별 데이터를 기반으로 국내외 항만도시의 스마트화 수준을 비교·평가한 결과 우리나라 항만도시는 항만산업의 집적도는 높으나 스마트 관련 산업의 발달은 미흡함

- 우리나라 주요 항만도시(부산, 인천 등)는 산업집적도를 나타내는 LQ 지수가 항만산업은 1 이상으로 발달된 반면 스마트 관련 산업을 포함하면 1 미만으로 스마트화가 미흡한 것으로 나타남
- 이에 반해 항만과 도시의 스마트화를 주도하고 있는 유럽의 함부르크, 로테르담, 앤트워프는 스마트항만산업도 잘 발달되어 있음

〈그림〉 항만도시의 스마트화 지수 비교(LQ 지수)



자료: 저자 작성

▸ 스마트 항만도시는 항만도시 간 연계 효율화를 통해 항만도시의 경제가 지속적으로 발전하는 것이므로 이와 관련된 인자(46개국, 15개 인자)에 대한 상관관계 분석을 실시하고, 스마트항만 과제(중분

류 12개)와 연계시켜 스마트 항만도시를 구성하는 요소를 도출했음

〈표〉 스마트 항만도시 구성요소

구분	스마트항만 구성요소	스마트 항만도시 구성요소
스마트 항만도시 4대 키워드	12개 과제	상관관계 분석결과
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	• 스마트교육 • 스마트안전 • 스마트보안	• 기술(Skill) • 혁신역량(Innovation Capability)
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	• 지속가능성 • 스마트에너지 • 미세먼지 관리	• 제도(Institutions) • 금융시스템(Financial System)
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	• 스마트인프라 • AI 터미널 • 통신 • 플랫폼	• ICT 보급(ICT Adoption) • 인프라(Infrastructure)
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	• 스마트 자원관리 • 교통흐름관제	• 생산시장(Product Market)

자료: 저자 작성

▸ 설문대상 항만도시민 500가구는 스마트항만에 대한 인지도가 낮고(29.8%) 현재 항만의 모습일 경우에는 항만과 도시가 녹지로 분리 개발되기를 희망하지만, 스마트 항만도시가 조성되면 과반수가 거주하기를 희망하고 항만과 도시의 연계를 통한 상생발전을 원함

▸ 컨조인트 분석을 통해 한국형 스마트 항만도시 건설에 대한 항만도시 가구주(749만 8,574가구)의 지불의사액(WTP)을 추정한 결과 약 909.58억 원의 비시장가치가 있는 것으로 나타남

- AHP 분석결과 가구주의 선호도는 안전하고 인간중심의 항만도시, 쾌적하고 지속가능한 항만도시, 초연결·자율화된 항만도시, 효율적인 항만도시의 순인데, 지불의사액(WTP)을 고려했을 때는 쾌적한 것보다 효율적인 항만도시 건설로 상생 발전하기를 더 희망함

- 항만도시민들은 안전하고 인간중심의 항만도시 건설에 연간 가구당 4,673원, 효율적인 항만도시에 2,852원, 쾌적하고 지속가능한 항만도시에 2,688원, 초연결·자율화된 항만도시에 1,917원의 가치가 있다고 평가함

2) 정책 대안 제시내용 및 정책화 활동

▸ 항만과 도시의 교통 흐름, 환경정보 등의 연계 비효율 문제를 해결하기 위해서는 '스마트 항만도시 통합운영체계 구축안'이 필요함

- 항만경제권을 더욱 성장시키고 도시경제 발전을 이끌기 위해서는 항만도시 관점에서 계획의 수립·실행이 가능하도록 ① 스마트 항만도시 정책목표 설정 및 다부처 협력체계 구축, ② 스마트항만-도시 교통, 환경, 에너지 수급 정보 모니터링 등을 위한 통합운영 플랫폼 구축이 요구됨

▸ 스마트 관련 산업이 미발달된 우리나라 항만도시의 디지털 역량을 강화하기 위해서는 '스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성방안'을 마련하는 것이 필요함

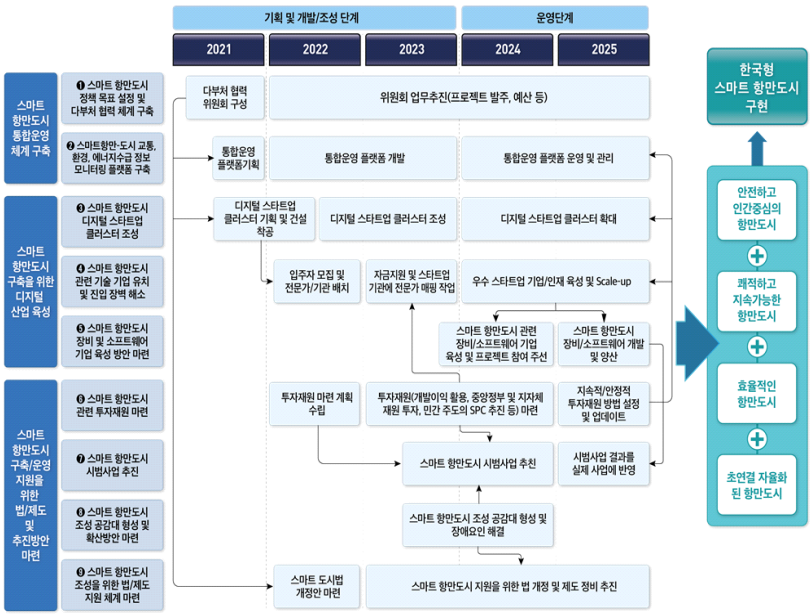
- 이를 위해서는 ③ 스마트항만 디지털 스타트업 클러스터 조성, ④ 스마트 항만도시 관련 기술기업 유치 및 진입장벽 해소, ⑤ 스마트 항만도시 장비 및 소프트웨어 기업 육성방안이 요구됨

▸ 그린필드, 브라운필드 방식의 스마트 항만도시를 효율적으로 조성, 관리, 운영하고 산업 진흥을 하기 위해서는 '스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 및 추진방안 마련'이 필요함

- 이를 위해서는 ⑥ 스마트 항만도시 구축·운영에 필요한 투자재원(개발이익 환수, 중앙정부 및 지자체의 재원 투자, 민간기업 주도의

SPC 등)을 확보한 후, ⑦ 스마트 항만도시 시범사업을 추진하고, ⑧ 성공적 시범사업 추진을 위해 스마트 항만도시 조성 공감대 형성 및 확산을 독려하고, ⑨ 스마트도시법에 스마트 항만도시 조성을 위한 법·제도 지원체계를 구성해야 함

〈그림〉 정책제언 수행시기 및 관계도



자료: 저자 작성

3) 정책적 기여 등 기대효과

▸ 스마트 항만도시 구축·운영을 통해 항만과 도시 간 정보 연계로 물류 흐름이 원활해지고, 스마트 물류기술 적용으로 처리 속도가 빨라지며, 항만도시의 통합 계획으로 효율성이 개선될 것으로 기대됨

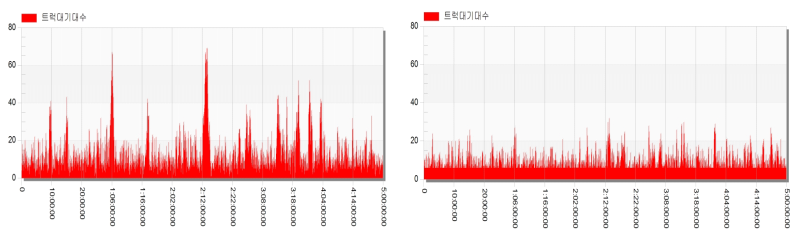
- 시뮬레이션 결과 도시와 항만 간 트럭 정보 공유로 교통정체가 25% 감소되었고, 항만 게이트의 스마트기술 적용을 통한 트럭 통

과속도 개선으로 교통정체가 44% 개선되었으며, 항만과 도시의 통합 계획에 의한 항만 진입로 차선 확대로 정체가 90% 완화될 것으로 기대됨

- 항만도시 간 연계 인프라를 구축하고 항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제를 실시하면 항만도시의 교통정체 문제가 해결되어 초연결·자율화 및 효율적인 항만도시가 될 것으로 기대됨

〈그림〉 항만-도시 간 정보 공유 여부에 따른 트럭 대기시간 비교

항만-도시 정보 미공유 항만-도시 정보 공유



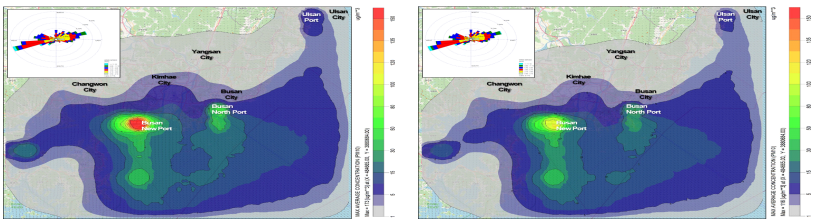
자료: 저자 작성

▸ 항만과 도시가 함께 선박 기인 미세먼지를 관리함으로써 항만도시의 대기질이 개선되어 안전하고 인간중심이며 쾌적하고 지속가능한 항만도시 구현이 가능해질 것으로 기대됨

- 대기확산 분석결과 항만의 친환경 정책별 모니터링을 통해 AMP 설치 후 항만도시 대기오염도가 평균 33% 개선되는 것으로 확인됨
- 이에 항만도시의 대기질 개선 계획을 수립하고 데이터 기반 관리체계를 마련한다면 항만도시민이 원하고 다음 세대를 위한 스마트 항만도시 구현이 가능할 것으로 기대됨

〈그림〉 항만-도시 간 통합 미세먼지 관리 전후 결과

AMP 설치 전 부산항 대기질 | AMP 설치 후 부산항 대기질



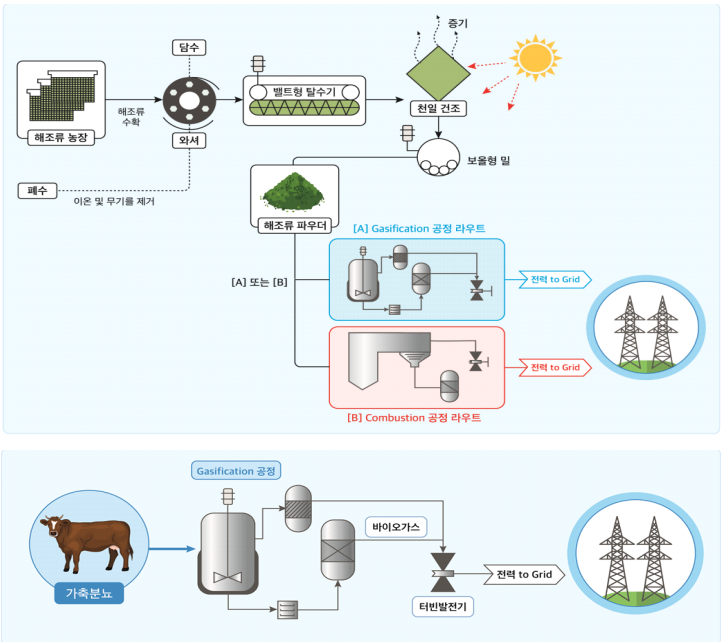
자료: 저자 작성

▸ 항만도시에서 탄소배출은 줄이면서 비용 측면에서 효과적인 신재생에너지 기반 스마트그리드 구축 가능성 제안으로 쾌적하고 지속가능한 항만도시가 구현될 것으로 기대됨

- 기저용량이 불안정(일조시간 차이, 바람 세기 차이 등)하다고 평가받는 신재생에너지의 효율적인 공급방안을 찾는 것이 화석연료 사용 감소로 이어져 스마트 항만도시의 에너지 공급방안이 될 것임

- 각 신재생에너지 전문가에 따르면, 우리나라에서 생산 가능한 전기량을 추정한 결과 2018년 기준 풍력은 3,164가구, 태양광은 64가구, 분뇨는 1/2가구, 해조류는 1/10가구의 에너지를 공급할 것으로 기대됨

〈그림〉 해조류 및 분류 에너지 생산 공정도



자료: 저자 작성

▸ 스마트 항만도시 구축으로 초연결·자율화된 인프라 기반하에 안전하고 인간중심의 항만도시 구축으로 쾌적하고 지속가능한 발전뿐만 아니라 효율성 개선으로 항만과 도시가 함께 성장 가능할 것으로 판단됨

- 스마트 항만도시 구축·운영은 「한국판 뉴딜」 종합계획(2020. 7. 14)의 디지털 뉴딜, 그린뉴딜과 관련이 높음

- 디지털 뉴딜의 SOC 디지털화 중 핵심 인프라 디지털 관리체계 구축(항만 디지털 플랫폼), 도시·산단의 공간 디지털 혁신(스마트시티 시범도시 및 통합 플랫폼) 및 스마트 물류체계(스마트 공동물류센터, 항만통합 블록체인 플랫폼) 구축과 연관도가 높은 사업임

- 또한 그린뉴딜의 도시·공간·생활 인프라 녹색 전환 중 국토·해양·도시의 녹색 생태계 회복과 관련이 높음

〈그림〉 한국형 스마트 항만도시 개념도(현재 항만도시→스마트 항만도시)



자료: 저자 작성

A Study on Strategy for the Connected Development of Smart Ports and Smart Cities

Eon-Kyung Lee · Ki-Youl Lee · Moo-Hong Kang · Jung-Yong Seo · Hyo-Jae Kim · Sung-Woo Lee

1. Purpose

▸ The purpose of this study is to establish the concept of the 'Korean Smart Port City' in terms of not only increasing the quality of life of urban residents but also for the sustainable development of ports, as well as its effects resulting from its construction. Thereby, this study aims to form a social consensus on the necessity of the construction and operation of smart port cities.

2. Methodology and Feature

1) Methodology

▸ A variety of methods were utilized in this study including a literature review, consultation with experts, statistical analysis, analysis of an econometric model, simulation analysis and an analysis of air quality dispersion models. Based on these

analyses, this study sought to define the concepts and attributes constituting smart port cities, an analysis of preferences for smart port cities and the effects of constructing smart port cities.

- To be specific, first of all, the concept and attributes constituting smart port cities were defined based on the growth theory as well as a variety of statistical data. Second, preferences and values surrounding smart port cities were estimated through a public survey. Third, an analysis based on the simulation model and air quality dispersion model presented the effects resulting from the construction of a smart port city.

〈Table〉 Major contents and methods of this study

Category	Major content	Methodology
Necessity of the connected development of port cities	• Analysis of port city growth models and smart technologies relevant port cities	• Domestic and foreign literature review
	• Analysis of characteristics of port-city connections in Korea and overseas	• Domestic and foreign literature review • Consultation with experts and survey to experts in Singapore
Defining attributes and concepts of smart port cities	• Classification of types of port cities	• Traffic volume and population of port cities in Top 20 ports • RCI (Relative Concentration Index)
	• Comparison of the level of smartization of port cities	• The number of workers engaging in industries of the Korean Standard Industrial Classification (2015~2017) in countries compared • LQ (Location Quotient) Index
	• Extraction of concepts and attributes constituting smart port cities	• Global Competitiveness Index, Logistics Performance Index, Container traffic volume and the data regarding port automation (as of 2018), The result of project-based grouping of Top 6 advanced smart ports • Regression and correlation analysis

Category	Major content	Methodology
Analysis of preferences of smart port cities and value assessment	• Awareness on smart port cities and development directions of port cities	• Public awareness survey
	• Survey on preferences regarding construction attributes of smart port cities	• AHP analysis on the public
	• Value assessment per attributes constituting smart port cities	• Assessment of non-market value • Conjoint analysis, WTP (willingness-to-pay) • Logit Model
Effects of constructing smart port cities	• Effects of improving logistics efficiency following a plan for collating and integration information between ports and cities	• Literature review and consultation with experts • Simulation analysis
	• Effects of smart techno logy-based management of fine dust	• Literature review and consultation with experts • AIS-based estimation of fuel consumption • Analysis based on an atmospheric dispersion model (CALPUFF)
	• Possibility of utilizing renewable energy in port cities	• Literature review and consultation with experts • Estimation of production amount of renewable energy (photovoltaic, wind power, seaweed energy, livestock manure)

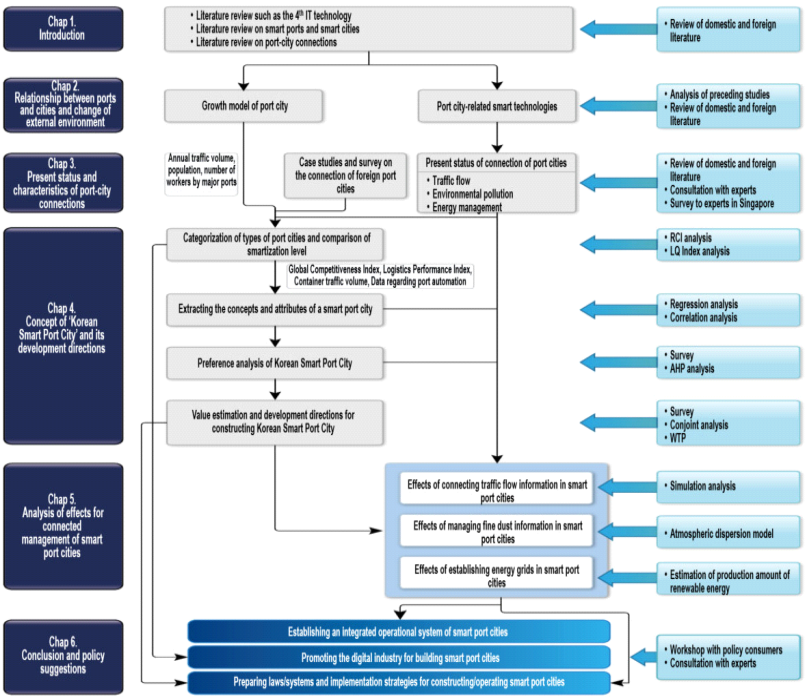
2) Feature

▸ This study utilized specific data to categorize the types of port cities and compared the level of smartization, while investigating the preferences and values of port residents per concept attributes with the intention to construct the Korean Port City.

Furthermore, quantitative effects were suggested to form a social consensus on the construction and operation of a smart port city where a port is connected to a city.

- This study utilized following data to analyze the impact of fine dust resulting from ships to port cities that include: ⅰ) the 2019 climate data on adjacent areas of Busan City obtained from Lakes Environmental Software (an area of 100km ×100km) and ⅱ) the 2019 AIS data on global containerships from IHS Markit.
- The type of port cities was classified based on the data that include: ⅰ) the UN World Population and population statistics by nation such as Malaysia and Thailand, ⅱ) the 2019 container throughput data from Alphaliner as well as container throughput data (2015~2018) from Lloyd's List.
- The level of smartization by port city was compared based on ⅰ) the number of relevant industrial workers by country and by city from Eurostat (2015~2017) and ⅱ) the National Establishment Survey data from the Statistics Korea.
- This study extracted the concept attributes of smart port cities from following data that include ⅰ) the Global Competitiveness Index (2018) of the World Economic Forum (WEF), ⅱ) the Logistics Performance Index (LPI) of the World Bank (2018) and ⅲ) container throughput of the world's top 100 ports (2018) and ⅳ) the status of terminal automation (2018) from Drewry and Review of Maritime Transport.

〈Picture〉 Flow diagram of research process



Source: Prepared by the author

3. Results

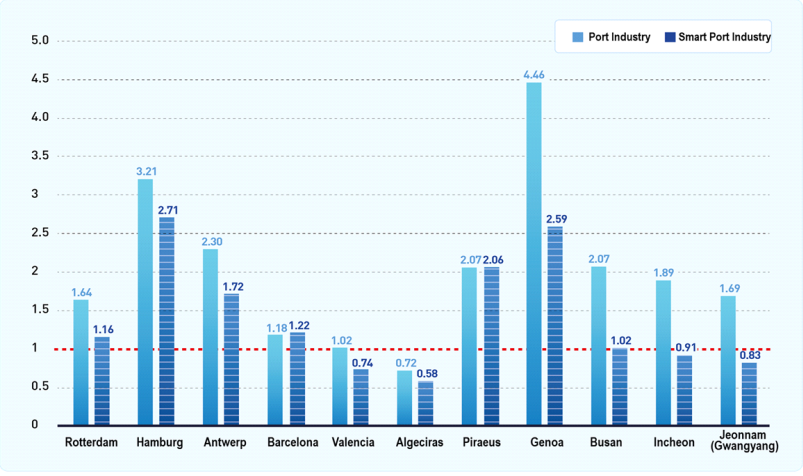
1) Summary

▸ According to the result of comparing and assessing the levels of smartization in domestic and foreign port cities based on annual data, Korean port cities possess a high concentration level of port industries but fall behind in terms of development of smart-related industries.

- In Korea's major port cities, the LQ Index of the port industry, which is an indicator of quantifying how "concentrated" industry is in a region, was greater than 1, representing an advanced level of development. When smart-related industries are included, however, the index was less than 1, representing a lack of smartization.

- On the other hand, cities including Hamburg, Rotterdam and Antwerp who have been driving the smartization of ports and cities in Europe possess highly developed smart port industries as well.

〈Figure〉 Comparison of smartization index of port cities (LQ Index)



Source: Prepared by the author

▸ Smart port cities promote the continued economic development of a city by improving the efficiency of connectivity between port cities. With this in mind, this study utilized a correlation analysis on relevant factors (15 factors in 46 countries), while extracting components consisting smart port cities by connecting tasks of smart ports (12 middle classifications).

〈Table〉 Components of smart port cities

Category	Components of smart ports	Components of smart port cities
4 Keywords of smart port cities	12 Tasks	Result of correlation analysis
Secure and humanity port city	• Smart education • Smart safety • Smart security	• Skill • Innovation Capability
Amenity port city	• Sustainability • Smart energy • Fine dust management	• Institutions • Financial System
Fully connected & autonomous port city	• Smart infrastructure • AI terminals • Telecommunication • Platform	• ICT Adoption • Infrastructure
Efficient port city	• Smart resource management • Traffic flow control	• Product Market

Source: Prepared by the author

▸ The result of the survey targeting port residents in 500 households shows that they have a low level of awareness (29.8%) on smart ports. Respondents stated that they would prefer ports and cities be developed separately as green belts under the current environment of ports. When a smart port city is created, however, the majority of respondents said that they wish to reside in a port city, expecting mutual development through the connections of ports and cities.

▸ The study conducted a conjoint analysis, estimating householder's (in 7,498,574 households) willingness-to-pay (WTP) for the construction of Korea's port cities. The result showed that it possesses approximately 90.958 billion won of non-market value.

- According to the result of an AHP analysis, preferences of householders include, in order of most desired, safe and human-driven port cities, clean and sustainable port cities, fully connected and autonomous port cities and efficient port cities. When WTP is taken into consideration, householders prefer mutual development as an efficient port city rather than promoting a clean environment.

- Residents of port cities estimated that the construction of safe and human-oriented port cities provides an annual value worth of 4,673 KRW per household, while efficient port cities offer 2,852 KRW, clean and sustainable port cities provides 2,688 KRW and fully connected and autonomous port cities bear an annual value of 1,917 KRW.

2) Policy suggestions and relevant activities

▸ This study proposes establishing a 'Plan for the Construction of an Integrated Operational System for Smart Port Cities' to solve inefficiencies surrounding the connection between ports and cities such as transportation flow and environmental information

- To further grow port economic zones and develop urban economies, it is necessary to establish and implement plans from the perspective of port cities. This requires ① setting policy targets for smart port cities and establishing a multi-departmental cooperation system as well as ② building an integrated operational platform for monitoring information related to port-city transportation, the environment, and energy

supply and demand.

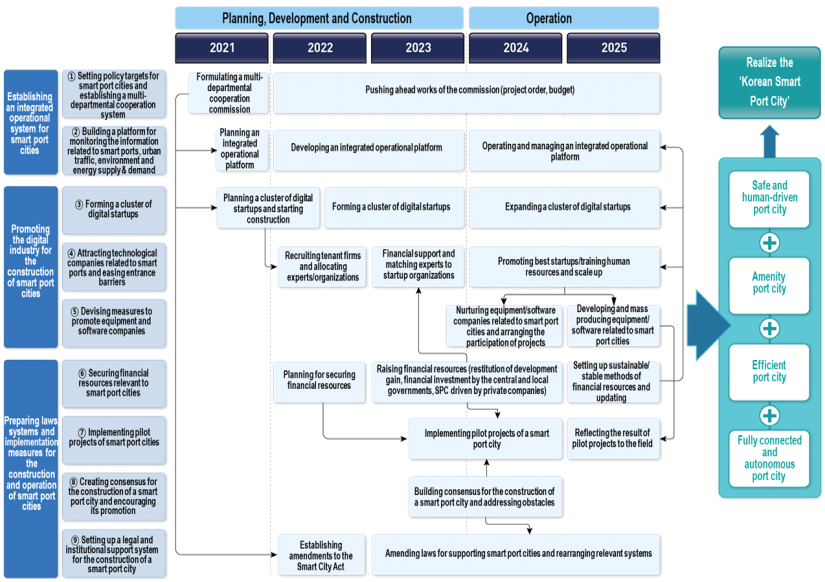
- In addition, it is necessary to develop the 'Strategy to Promote the Digital Industry for the Construction of Smart Port Cities' to boost the digital capacity of port cities in Korea in which smart-related industries have not yet been developed.

  - For this purpose, the following measures are necessary; ③ forming a cluster of digital startups relevant to smart ports, ④ attracting technological companies related to smart ports and easing entrance barriers, and ⑤ measures to promote equipment and software companies for smart port cities

- An effective construction, management, operation and industrial promotion of smart port cities in the form of green field and brown field require the 'preparation of laws, system and implementation measures for the construction and support of smart port cites.'

  - To achieve this, the following measures are necessary; ⑥ after securing financial resources (restitution of development gain, financial investment by the central and local governments, SPC driven by private companies etc.) for the construction and operation of smart port cities, ⑦ implementing pilot projects, ⑧ creating consensus for the construction of a smart port city and encouraging its promotion and ⑨ setting up a legal and institutional support system for the creation of a smart port city within the Smart City Act.

〈Picture〉 Performance timing and relevance diagram of policy suggestions



Source: Prepared by the author

3) Expected benefits including policy contribution

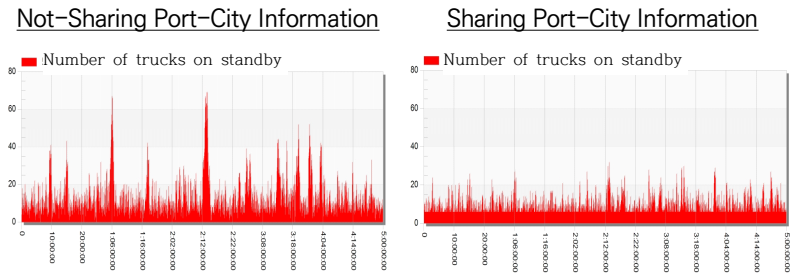
▸ Construction and operation of smart port cities will improve the logistics movement by collating information between ports and cities, accelerate processing speed by applying smart logistics technologies, and enhancing efficiency with an integration plan for port city establishment.

- According to the results of a simulation-based analysis, sharing truck information between cities and ports is expected to reduce traffic jams by 25%, while the application of smart technologies to port gates will improve traffic congestion by 44% by increasing the passage speeds of trucks. In addition, expanding port entrance lanes in accordance with integration plans of port cities

is expected to reduce traffic jams by 90%.

- If infrastructure connecting ports and cities is established and integrated control of traffic flow is operated, problems surrounding traffic congestion in and around port cities will be resolved, resulting in the realization of fully connected, autonomous and efficient port cities

〈Picture〉 Comparison of truck waiting time depending on sharing of port-city information



Source: Prepared by the author

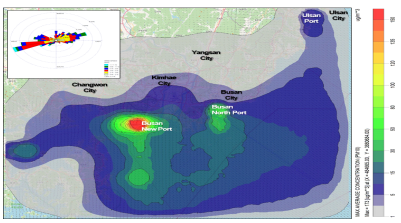
▸ Joint management of emissions from ships by both ports and cities is expected to result in improved quality of air in port cities, which will allow port cites to become not only safe and human-oriented cities but also clean and sustainable ones.

- According to the result of an atmospheric dispersion analysis, air pollution of port cities has been improved by 33% on average following the installation of AMP via monitoring per eco-friendly policies.

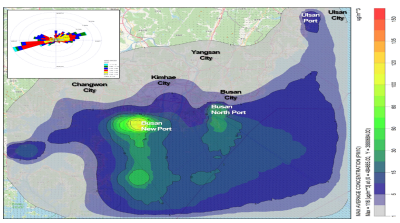
- Therefore, if relevant parties establish a plan for improving the air quality of port cities and developing data-based management systems, it will contribute to realizing smart port cities desired by port residents while serving for the next generation.

〈Picture〉 Before/After the integrated management of port-city fine dust

Air quality of Busan port Before AMP installation



Air quality of Busan port After AMP installation



Source: Prepared by the author

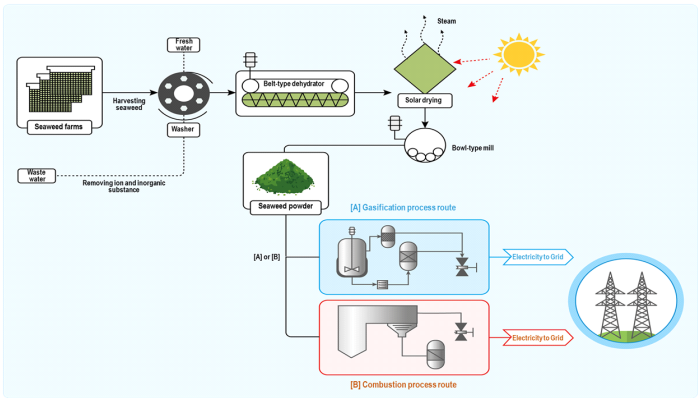
▸ This study proposes the establishment of renewable energy-based smart grid systems in port cities which can be cost-effective while reducing carbon emissions. This suggestion, if adopted, is expected to allow port cities to become clean and sustainable.

- Strategies to supply energy to smart port cities include finding an efficient method for supplying renewable energy which has been evaluated as having unstable baseloads (differences in duration of sunshine, differences in wind power etc.), hence, leading to a reduction in the consumption of fossil fuels.

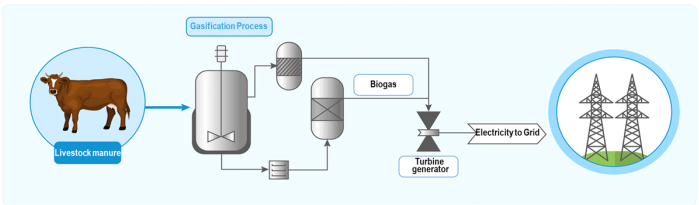
- This study estimated the amount of electricity available for production in Korea by asking experts in different fields of renewable energy. According to the result, wind power has the potential to supply enough energy to 3,164 households, photovoltaic energy may provide enough for 64 households, livestock manure can provide enough energy for half (1/2) a household, while seaweed can provide enough for one-tenth (1/10) of a household.

〈Picture〉 Process chart of seaweed and manure energy production

Seaweed



Manure



Source: Prepared by the author

▸ On the basis of fully connected and autonomous infrastructures, the construction of smart port cities will bring about safe and human-oriented port cities. Furthermore, it will contribute to clean and sustainable development as well as mutual growth between ports and cities by improving the efficiency.

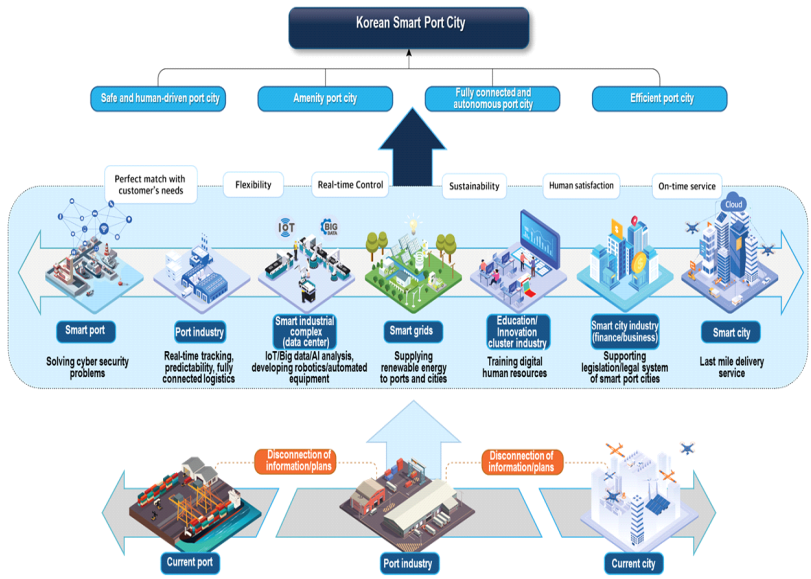
- The construction and operation of smart port cities is highly relevant to the Digital New Deal and the Green New Deal of the comprehensive plan of 'Korean New Deal' (July 14th, 2020)

- In particular, it is highly related the following projects in SOC digitization of the Digital New Deal; construction of a digital management system for core infrastructures (port digital

platform) and construction of spatial digital innovation between cities and industrial complex (trial smart city and integrated platform) and smart logistics systems (smart joint logistics center, ports-integrated blockchain platform).

- In addition, it is highly relevant to 'restoring the green ecosystem of lands, oceans and cities' from 'changing urban, spatial and living infrastructures green' of the Green New Deal.

〈Picture〉 Concept diagram of 'Korean Smart Port City' (current port city → smart port city)



Source: Prepared by the author

제 1 장

서론

제1절 연구의 필요성 및 목적

1. 연구의 배경 및 필요성

세계의 주요 대도시들은 항만과 상호 연계되어 발전·확장되었다. OECD 자료에 따르면 인구가 많은 대도시에 물동량 상위 항만들이 위치해 있으며, 특히 아시아 지역에서 그 특징이 두드러지고 있다.[1] 이와 같이 해안에 위치하고 해상 교역의 중심지 역할을 하는 도시를 항만도시(port city)라고 부른다.

항만과 도시는 개발 초기에는 항만이 도시에 긍정적인 요소로 작용하면서 공생 발전하고, 항만물동량이 증가함으로써 항만 관련 인력이 인근 지역에 거주함으로써 항만도시가 확장된다. 항만도시의 성장으로 인한 항만구역 확장 한계 시 인근 지역의 신규항만 개발이

1) OECD(2013), p. 9.

이루어지고 이로 인하여 기존 항만의 기능이 쇠퇴하면서 항만과 도시가 분리되어 발전한다. 항만도시의 도시기능이 발전·팽창하고 항만 기능이 사라지면 구항만이 수변공간(waterfront)으로 도시재생을 하거나 항만을 전면 재개발해서 도시로 환원되는 것이 일반적이다. 즉 항만도시는 인구와 항만물동량 증감에 따라 신규 항만 개발, 항만배후단지 확장, 수변공간으로 도시재생, 재개발 등 네 가지 유형으로 변환되어 왔다.

〈표 1-1〉 항만물동량/인구증감에 따른 항만도시 개발유형

구분	도시인구 성장	도시인구 축소
항만물동량 성장	신규 항만 개발 (싱가포르항)	항만배후단지 확장 (로테르담항)
항만물동량 감소	수변공간(wsterfront) 도시재생 (발티모어(Baltimore)항)	산업구조 다양화 등 재개발 (빌바오(Bilbao)항)

자료: OECD(2013), "The competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report", p. 16 기반 저자 작성

현재 항만도시의 모습은 지난 수천 년간 인류가 이루어낸 사회적, 기술적, 경제적, 정치적, 문화적인 진화의 산물이다. 항만도시의 진화 특성은 유기체인 생명 진화와 유사하게 지속적인 성장, 발전, 진화 과정이 있다.[2] 항만도시는 살아있는 생명체가 아님에도 불구하고 유기체로 분류되는 이유가 있다. 기계는 스스로 성장, 발전하지 않고 초기 디자인된 상태에서 노후되면 부품을 교체하는 닫힌 시스템이다. 이에 반해 유기체는 모든 구성요소들이 고정되어 있지 않고 환경에 따라 계속 변화하고, 외부 물질들이 끊임없이 들어오고 나가는 열린 시스템이다.[3] 항만도시는 초기 건축 및 도시 설계자가 디자인한 형태로 멈춰있지 않고 끊임없이 새로운 패턴이 자체 생산·발전·변화

2) 유현준(2018), pp. 125-129 기반 저자 재구성.
3) 위의 책, p. 125.

하여 어느 나라에도 동일한 형태가 없기 때문에 유기체로 간주할 수 있다.

항만도시는 살아있는 유기체이기 때문에 주변 환경 변화에 영향을 받고 적응해야만 살아남을 수 있다. 2016년 1월 다보스 포럼(World Economic Forum)에서 4차 산업혁명(Forth Industrial Revolution)이라는 용어가 언급된 이후, 항만, 도시를 비롯한 전 산업에 IoT, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, AI, 로봇 등의 디지털 신기술이 접목되고 있고, 코로나19의 영향으로 비대면 디지털화의 중요성이 강화되고 있다. 4차 산업혁명 기술의 등장과 코로나19의 충격은 항만도시민의 삶의 형태, 항만도시의 순환계와 신경계 역할을 하는 통신, 교통, 에너지 등의 흐름, 지속가능성에 대한 인식에도 영향을 주고 있다.

항만 관점으로 살펴보면 세계 주요 항만은 무역 범위가 확대되고 선박 대형화에 따라 선박당 처리 화물량이 증가하고 항만 운영작업의 복잡성 가중으로 발생하는 문제점을 해결하기 위해 4차 산업혁명 기술을 도입하고 있다. 예를 들면 네덜란드 로테르담항은 4천 개가 넘는 선사, 트럭 운송사, 터미널 운영사 등 관련 기관과의 실시간 정보공유, 협업을 위해 항만 커뮤니티 시스템(PCS: Port Community System)을 도입하여 3천만 회의 전화, 1억 개의 이메일 교환 등의 불필요한 중복업무를 대폭 축소해 연간 약 2억 4,500만 유로의 부가가치를 창출하고 있다.[4] 또한 선박의 모든 활동정보를 통합된 일정관리계획 시스템인 프론토(Pronto) 등을 통해 제공하여 선박 및 트럭 도착시간 예측을 통한 효율성 개선뿐만 아니라 선박 접안 시 대기시간 없이 벙커링이 진행되도록 작업지시를 하고 있다. 독일 함부르크항은 항만공간 확장 한계 문제를 해결하기 위해 IoT 기반으로 해운-

4) 이언경 외(2019.11), p. 6; 원문은 Gardeilchik(2019.9), p. 16.

항만-내륙물류 정보를 연계한 동적교통흐름관제시스템(DIVA: Dynamic Information on traffic Volumes in the Area of the port)을 도입하여, 항만운영비 75%, 항만 교통정체를 15% 감소시켰다.[5] 또한 싱가포르항은 미래 증가하는 수요에 대응하고, 안전성, 효율성, 지능화, 그린화를 목표로 지능형 항만을 개발하고 있다. 미국 LA/LB항은 친환경 기술 도입뿐만 아니라 터미널 환경오염물질 제로배출(Zero-Emission) 등을 달성하기 위해 전체 터미널의 완전 자동화기술, 스마트기술을 도입하고 있다. 또한 코로나19로 인한 건강·안전에 대한 위협은 항만의 환경 영향 등 위험요소 최소화 등의 지속가능성과 화물의 원산지 등 추적·관리에 대한 관심으로 전이되었다. 이러한 항만의 디지털 변환으로 스마트항만의 글로벌 시장규모는 2019년 17억 달러에서 2024년 53억 달러로 연평균 25%로 급성장할 것으로 전망되고 있다.[6]

도시개발 관점에서 각국은 도시 재원의 효율적인 활용을 위하여 ICT 등 4차 산업혁명 기술을 도시공간에 적용한 새로운 도시 모델인 스마트시티 정책을 수행하고 있다. 도시계획적 측면에서 스마트시티는 미국에서 시작하여 유럽 도시의 무질서한 확장 등의 교외화로 발생하는 문제를 해결하기 위한 뉴어버니즘(New Urbanism)과 지속가능 성장을 위한 스마트성장(Smart growth) 개념에서 출발했다. 뉴어버니즘과 스마트성장은 도시공간에 기술접목을 통해 도시환경과 삶의 질을 향상시키며 새로운 산업을 창출하는 것을 목표로 하고 있다.[7] 스마트시티 정책은 글로벌 도시 인구 증가로 인한 교통혼잡 및 기후변화 심각성, 코로나19 확산 등에 대한 공감대 형성으로 각국 정

5) 이언경 외(2017. 12), p. 3.
6) 이언경 외(2019. 12), p. 52.
7) Vanolo(2014), pp. 887-888 기반 저자 재구성.

부 단위뿐만 아니라 국제기구 주도로도 시행되고 있다.

항만도시는 하나의 유기체이기 때문에 항만과 도시가 별개로 움직이면 안 되고 공통의 목적하에 연계·협력하여 통합적으로 발전해야 한다. 즉 항만과 도시가 조화롭게 발전하기 위해서는 항만, 도시가 분리되어 정책을 수립하는 것이 아니라 항만도시 관점에서 두 기능을 조화롭게 융합하는 정책이 필요하다. 하지만 아직 우리나라는 항만과 도시의 관리주체가 달라 항만계획, 도시계획은 각자의 입장에서 수립되고 있다. 이로 인하여 항만과 도시의 물류 연계에 비효율성이 발생하고 있고, 환경 측면에서도 항만이 도시에 미치는 영향, 원인 분석 등이 부족하여 대책 마련이 미흡하다.

한편 4차 산업혁명 기술 가시화, 코로나19 유행으로 인한 디지털 사회 도래로 스마트항만, 스마트시티 사업의 중요성이 증대되고 있다. 그런데 항만도시가 하나의 유기체임에도 불구하고 항만과 도시를 분리하여 스마트화 사업을 추진하고 있다. 즉 독일, 네덜란드, 싱가포르 등의 해외 주요 항만은 스마트항만을 중심으로 해상부터 내륙까지 정보를 연계하기 위해 노력할 뿐만 아니라 도시와 함께 목표를 설정하고 있지만 우리나라는 스마트항만, 스마트시티 각각의 개별 프로젝트를 진행하고 있다.

이와 달리 독일, 네덜란드, 싱가포르 등의 해외 선도항만들은 항만도시 관점에서 공생 발전 전략을 수립할 뿐만 아니라 보다 나은 발전을 위해 4차 산업혁명 기술접목을 시도하고 있다. 예를 들면 함부르크항은 항만물동량과 도시인구가 모두 성장하여 기존 항만의 확장 혹은 신규 항만 개발이 이루어져야 하나, 도심항만으로 공간 확장의 한계가 있어 구항만의 이전 등을 통한 수변공간 개발을 고민했다. 하지만 4차 산업혁명 기술 도입으로 데이터 기반 해운-항만-내륙물류

연계를 통해 항만공간 부족 문제, 도심 교통혼잡 문제를 해결해 항만과 도시가 다시 활기를 띠게 되었다.

우리나라 항만도시는 스마트 산업기반이 약한 편이고, 인구가 지속적으로 이탈할 뿐만 아니라 특히 고령화 비율이 높아지고 있다. 예를 들면 전국 인구는 지난 10년간(2009~2019년) 연평균 0.41% 증가한 반면 부산시 인구는 연평균 0.37% 감소했다. 또한 지난 10년간 전국의 고령화율은 4.9%p(10.6%(2009년)→15.5%(2019년)) 올라간 반면 부산시는 7.4%p(10.8%(2009년)→18.2%(2019년)) 상승했다.[8)]

이러한 문제를 해결하기 위해서는 항만과 도시가 상충되는 개념이 아니라 스마트 기술접목을 통해 공생 발전하는 유기체로 스마트성장 관점에서 재조명될 필요가 있다. 동시에 도시계획과 항만계획의 부조화, 중앙정부와 지방정부 간의 관할권 문제, 항만과 도시 연계를 고려하지 않은 법·제도 및 조직, 예산 할당 등의 문제를 해결하기 위한 방안을 모색해야 한다. 항만과 도시가 유기적으로 상생 발전하기 위해서는 항만과 도시를 분리하지 않고 디지털 기술을 접목한 스마트 항만도시 개념을 정립하는 연구가 선행되어야 한다. 그다음 항만과 도시 관계자들이 개별적으로 계획 및 사업을 추진하는 것이 아니라 협력하는 것이 필요하다는 공감대를 이끌어내기 위해 스마트 항만도시 구현 효과를 제시하는 연구도 필요하다.

2. 연구목적 및 주요 내용

본 연구의 목적은 4차 산업혁명 기술 도입을 통해 항만도시민의

8) KOSIS(검색일: 2020. 11. 29)

삶의 질 향상 뿐만 아니라 항만의 지속적인 발전이 가능하도록 한국형 스마트 항만도시 개념을 정립하고 구축 효과를 제시하는 것이다. 본 연구에서는 스마트항만을 중심으로 해상운송 및 내륙운송이 스마트하게 연계되어 항만 효율성 개선 및 에너지관리를 통한 부가가치 창출, 항만 기인 도시환경문제 최소화, 도시민이 살기 좋은 항만도시 구축 방안 및 효과를 제시하고자 한다. 구체적으로는 첫째, 4차 산업혁명 및 코로나19 시대에 적합한 새로운 스마트 항만도시 성장모델을 제시한다. 둘째, 도심 항만공간 확장의 어려움, 컨테이너 트럭에 의한 교통 혼잡 및 안전상의 위험성 등을 항만과 도시 간 정보공유를 통해 해결 가능성을 제시하고자 한다. 셋째, 항만도시의 지속가능성을 위하여 항만이 도시에 미치는 환경 영향을 최소화할 수 있는 방안을 데이터 분석을 통해 모색한다. 마지막으로는 에너지 수요가 증가하는 스마트항만과 스마트시티가 조화롭게 에너지를 활용할 수 있도록 하는 스마트 항만도시의 에너지 그리드 방안을 제시하고자 한다. 궁극적으로는 항만의 발전 목표가 물동량 창출뿐만 아니라 스마트기술을 접목하여 항만도시의 공생 발전 관점에서 효율성(Efficiency), 쾌적성(Amenity), 지속가능성(Sustainability)을 실현하는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 총 6장으로 구성되는데, 제1장은 스마트 항만도시 연구 필요성 및 목적, 연구내용 및 방법, 선행연구 검토 및 차별성에 대해 기술한다. 제2장은 국내외 문헌조사를 통하여 항만도시의 발전단계를 설명하고, 스마트기술 발전 등 항만도시에 영향을 주는 외부환경을 조사한다. 제3장은 자료조사 및 현장조사, 전문가 자문을 통해 국내 항만도시가 안고 있는 교통 흐름, 환경, 에너지 관련 연계 현황 및 문제점을 기술할 뿐만 아니라 싱가포르 현지 전문가 자문을 통해 스

마트 항만도시 연계 발전 방안을 탐색한다. 제4장에서는 글로벌 주요 항만도시를 유형화하여 항만도시의 스마트화 정도를 비교 평가한 후, 우리나라의 지속가능한 스마트 항만도시로 성장하기 위해서 필요한 요소(기능)를 정의한다. 그다음 국민을 대상으로 한 스마트 항만도시 선호도 분석을 통해 한국형 스마트 항만도시의 개념뿐만 아니라 건설에 따른 가치 평가와 발전 방향을 제시한다. 제5장에서는 항만과 도시가 분리되지 않고 통합되어 운영되었을 때의 효과를 분석하기 위해 정보연계·관리 여부에 따른 도시교통 흐름 등 효율성 개선, 항만도시 쾌적성 향상 효과를 정량적으로 분석한다. 또한 항만도시의 효율적이고 지속가능한 발전을 위한 에너지 관리방안을 제시한다. 마지막 장에서는 지속가능한 한국형 스마트 항만도시로 발전하기 위해 법·제도적으로 해결해야 하는 정책대안을 도출한다. 보다 실효성 있는 대안을 모색하기 위해 전문가 자문뿐만 아니라 정책입안자 면담 및 워크숍을 통해 정책대안을 제시한다.

제2절 선행연구 검토 및 차별성

1. 선행연구 분석

최근 항만, 도시, 스마트항만, 스마트시티에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 항만도시를 연계한 항만도시 연구뿐만 아니라 스마트화를 접목한 스마트 항만도시에 대한 연구는 부족한 편이다. 최병삼 외(2016), 이언경 외(2017), Accenture(2017), McKinsey(2018), Deloitte(2020), McKinsey(2020), Gaspare(2020), Radu(2020)는 4차

산업혁명, 5G 등 스마트기술 변화에 따른 경제사회적 영향, 항만물류에 미치는 영향과 수준을 분석했을 뿐만 아니라 초연결시대 스마트항만, 스마트도시, 스마트산업 현장의 모습, 적용기술을 정의했다. 임영태 외(2013)는 항만도시의 특성과 도시재생 방법에 대해 기술하고 있다.

이재용 외(2018), 임시영 외(2018)는 공공 위주로 진행되었던 U-City 사업의 한계를 극복하고 IoT 등 실현 가능한 스마트기술 도입 등으로 인하여 지속적인 도시성장이 가능한 스마트시티 개발 방향을 제시하고 있다. 스마트시티의 공간정보 관리 방법과 스마트시티 유형 분류를 통한 유형별 발전 전략을 제시하고 있다.

항만도시는 도시계획 및 지역계획 관점에서 항만과 도시의 성장단계를 정의하고, 단계별로 항만도시를 유형화하고 특징을 정의하고 있다. Hoyle(1988)은 항만과 도시의 상호관계 관점에서 초기 발생 단계에서는 항만과 도시가 상생 발전하다가 시간이 흐름에 따라 항만기능이 쇠퇴하여 항만과 도시가 분리되어 항만구역이 재개발되어 도시로 환원되는 모델을 제시했다. Lee(2008, 2009)는 아시아와 유럽 및 북미의 항만도시 발전단계가 상이함을 데이터로 분석한 후 Holye의 항만도시 발전모형에 아시아 허브항만을 대상으로 분석한 결과를 더해 새로운 항만발전 모델을 제시했다. Rodrigue and Notteboom(2010)은 Rimmer(1967) 등이 제시한 항만도시 성장모델이 허브항만도시를 설명하지 못하는 한계를 지적하고, 허브항만의 지향지와 배후지와의 연계성을 도식화하여 항만지역화(regionalization) 개념을 제시했다. Daamen(2013)은 유럽의 대표적인 항만도시를 대상으로 항만공간 개발과 관련된 거버넌스 운영과정을 분석한 후 그 특징을 기술했다. Ducruet and Lee(2006), Jianke(2020)는 항만도시의 항만물동량과 인구 비중 변화를 기반으로 항만도시를 유형화하여 제시했다.

〈표 1-2〉 선행연구 분석

구 분		선행연구 분석		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명 : 4차 산업혁명시대 항만 물류산업 고도화 방안 연구 • 연구자(년도) : 이언경 외(2017) • 연구목적 : 4차 산업혁명 시대에 적합한 한국형 스마트포트를 정의하고, 선진항만 대비 우리나라의 항만물류 수준 분석 및 문제점 파악하여 이를 해결하기 위해 우선적으로 추진해야 하는 대응과제를 제시	• 국내외 문헌조사 • 관련 전문가 설문조사 • 전문가 브레인스토밍 • AHP 분석	• 4차 산업혁명 시대 항만물류 환경 변화 • 4차 산업혁명 기술로 인한 항만의 발전 • 스마트항만 대비 우리나라 항만 수준 분석 • 4차 산업혁명 시대 국내 항만물류 문제점 분석 • 4차 산업혁명 시대 항만물류 고도화 방안 • 결론 및 정책제언
	2	• 과제명 : 제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 주요 의제 • 연구자(년도) : 최병삼 외(2017) • 연구목적 : 4차 산업혁명 이론보다는 전략으로 이해하고, 우리의 현안을 해결하는 한국형 4차 산업혁명 전략을 찾는 것을 목표로 설정	• 국내외 문헌조사 • 경제·사회적 영향 분석 및 강약점 평가 • 산업 포지셔닝 분석	• 제4차 산업혁명의 도전과 국가전략의 방향성 • 국가전략 수립을 위한 주요 의제 • 국가전략 수립을 위한 제언
	3	• 과제명: Smart Cities: digital solutions for a more livable future • 연구자(년도): McKinsey(2018) • 연구목적: 데이터 및 디지털 기술을 기반으로 스마트도시의 스마트화 변화를 조사	• 현장조사 및 분석	• 50개 도시 대상 보안, 헬스케어, 모빌리티, 에너지, 물, 쓰레기, 경제개발 및 주거, 커뮤니티 등과 관련된 스마트도시 애플리케이션
	4	• 과제명: 5G smart cities whitepaper • 연구자(년도): Deloitte(2020) • 연구목적: 5G 혁신에 따른 모빌리티, 헬스케어, 제조, 소매 부분의 영향 분석	• 현장조사 및 분석	• 새로운 시대의 스마트도시 개발 • 스마트도시에서 5G 잠재력 • 5G 기반 스마트시티 구축 • 5G 시대 운영(교통 흐름, 원격수술, 순찰 로봇 등) 역할
	5	• 과제명: Connected World • 연구자(년도): McKinsey(2020) • 연구목적: 5G 혁신에 따른 모빌리티, 헬스케어, 제조, 소매 부분의 영향 분석	• 현장조사 및 설문조사	• 디지털 연계의 변화 • 모빌리티 생태계 변화 • 헬스케어의 변화 • 제조 분야 변화 • 소매 공급망의 변화 • 제약사양 극복방안 • 국가별 연결성 차이

구 분		선행연구 분석		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	6	• 과제명: Understanding sensor cities: Insights from technology giant company driven smart urbanism practices • 연구자: Gaspare D'Amico et al. (2020) • 연구목적: Huawei, Cisco, Google, Ericsson, 마이크로소프트, 알리바바 스마트시티 프로젝트 기반 도시의 스마트화 및 지속가능성 방안제시	• 문헌조사 및 현장조사	• 스마트시티 적용 요소 및 방법 • 벤치마킹 사례 기반 스마트시티 플랫폼 제시 및 분석
	7	• 과제명: Disruptive Technologies in Smart Cities: A Survey on Current Trends and Challenges • 연구자: Laura-Diana Radu (2020) • 연구목적: 스마트도시 개발에 사용되는 기술 탐구 조사	• 기존 문헌 고찰 • 빅데이터 분석	• 스마트도시의 하드웨어, 소프트웨어 대상 및 관련 기술 조사 • 스마트도시 개발에서 IoT, 빅데이터, AI, 블록체인 적용 현황
	8	• 과제명 : Connected Ports Driving Future Trade • 연구자(년도) : accenture & SIPG (2016) • 연구목적 : IoT, 드론, 로봇, 3D 프린터, 빅데이터 등 첨단 디지털 기술이 접목된 항만의 전략적 방향 제시	• 국내외 문헌조사 • 현장조사	• 항만의 변화 • 미래 초연결 항만 • 첨단기술 적용 콘셉트 • 항만 생태계를 위한 정책제언
	9	• 과제명 : 스마트시티 유형에 따른 전략적 대응방안 연구 • 연구자(년도) : 이재용 외(2018) • 연구목적 : 도시문제 해결과 혁신적인 신산업 창출이라는 스마트시티 목표 달성에 필요한 정책 수단 및 유형별 성공 실현방안 제시	• 국내외 문헌조사 • 설문조사 • 전문가 자문회의 • 유형별 특성 중요 – 성취도(IPA, Importance-Performance Analysis) 분석	• 스마트시티 등장배경 및 구성요소 • 국내외 스마트시티 정책 현황 • 스마트시티 유형별 특성 및 분석 • 유형별 스마트시티 전략 제시
	10	• 과제명 : 초연결 스마트시티 구현을 위한 공간정보 전략 연구 • 연구자(년도) : 임시영 외(2018) • 연구목적 : 초연결 스마트시티로 도약하기 위한 공간정보의 역할 및 스마트시티 혁신플랫폼으로의 발전 전략 제시	• 국내외 문헌조사 • 공간데이터 실험 구축 • 시나리오 분석	• 4차 산업혁명 시대의 스마트시티 발전 전망 • 초연결 스마트시티를 위한 공간정보의 역할 • 초연결 공간정보 시나리오 및 객체기반 공간데이터 실험 구축 • 초연결 스마트시티 구현을 위한 공간정보 전략

구 분		선행연구 분석		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	11	• 과제명 : 도시활성화를 위한 항만도시 재생전략 연구 • 연구자(년도) : 임영태·류재영(2013) • 연구목적 : 전통적 방식의 부산북항재개발사업을 대상으로 도시재생과 연계된 항만지역 재생 방향 재정립	• 국내외 문헌조사 • 해외 추진 사례 분석	• 항만지역 도시재생의 필요성 • 우리나라 항만도시의 특성과 항만지역 재생사업의 문제점 및 방향 • 국내외 항만지역 도시재생 추진 사례
항만도시 성장모델 및 유형화				
	12	• 과제명: Cities and Ports: Concepts and issues • 연구자(연도): Brian S. Hoyle (1998) • 목적: 항만도시 연계공간(interface) 개념 및 발전단계를 설정	• 문헌조사 • 항만도시 변천과정 도식화	• Cityport 개념 설정 • Port-city interface 정의 • 항만도시 성장모델 5단계 정의 • 항만도시 재생과정 도식화
	13	• 과제명: Spatial globalization in Asia-Pacific hub port cities: A comparison of Hong Kong and Singapore • 연구자(연도): Sung-Woo Lee and Cesar Ducruet(2009) • 목적: 아시아 허브항만의 공간적 성장단계 차이 제시	• 문헌조사 • 엔트로피 분석	• 엔트로피 모형을 활용한 싱가포르, 홍콩의 항만도시 변화 비교(1993~2004) • Port-city interface의 변화 비교
	14	• 과제명: A tale of Asia's world ports: The spatial evolution in global hub port cities • 연구자(연도): Sung-Woo Lee et al.(2008) • 목적: 홍콩, 싱가포르의 아시아 중심항만과 북미, 서유럽의 항만 발전 단계의 차이를 분석	• 문헌조사	• 국제표준산업분류를 기반으로 아시아 허브항만과 북미, 서유럽 항만의 성장 단계 차이 분석
	15	• 과제명: Foreland-based regionalization: integrating intermediate hubs with port hinterlands • 연구자(연도): Jean-Paul Rodrigue, Theo notteboom(2010) • 목적: 허브항만으로의 발전단계를 설명하기 위해 항만지역화 개념 도입	• 문헌조사 • 항만도시 변천 과정 도식화	• Rimmer가 제안한 항만성장모델 5단계가 허브항만으로의 발전을 설명하지 못함을 지적하고, Hub & Spoke가 설명 가능한 항만지역화(Regionalization) 단계를 추가
	16	• 과제명: Governing the European port-city interface: institutional impacts on spatial projects between city and port	• 문헌조사 • 사례조사	• 함부르크, 로테르담, 바르셀로나, 마르세유 항만도시를 대상으로 항만 공간 개발 관할 부처와 거버넌스 차이 분석하

구 분	선행연구 분석		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
	• 연구자(연도): Tom A. Daamen, Isabelle Vries(2013) • 목적: 유럽의 항만도시를 대상으로 기관과 거버넌스 프로젝트 진행과정 연구		고 항만당국의 역할 제시
17	• 과제명: Frontline soldiers of globalisation: port-city evolution and regional competition • 연구자(연도): Ducruet and Lee (2006) • 목적: RCI를 이용한 항만도시 유형분류	• 문헌조사 • 사례조사 • RCI 분석	• RCI를 이용하여 1970~2005년 기간 동안 653개 항만도시에 대한 중심성과 매개 정도를 기초 분석해서 유형화
18	• 과제명: Dynamic measurements and mechanisms of coastal port-city relationships based on the DCI model: empirical evidence from China • 연구자(연도): Jianke Guo et al. (2020) • 목적: 항만도시관계 분석에 공적 집중도지수(DCI) 방법을 제안하고 검증	• 문헌조사 • 사례조사 • RCI, DCI 분석	• 중국의 항만도시를 물동량, 인구 등의 데이터를 가지고 항만-도시 연관 관계를 RCI(relative concentralisation index)와 DCI(dynamic concentralisation index)를 이용하여 항만도시를 항만중심, 도시중심, 항만-도시 연계 중심 세 가지로 분류
19	• 과제명: The role of ports in the economic development of port cities: Panel evidence from China. • 연구자(연도): Long-ze Cong et. al(2020) • 연구목적:항만도시의 경제지표와 항만물동량간의 관계 조사 분석	• 패널데이터 분석	• 2000~2016년간 중국 16개 항만을 대상으로 항만물동량, GDP, 소매판매량, 부가가치 등에 대한 패널데이터 분석 • 항만물동량과 GDP는 양의 관계가 있고, 소매판매량과는 음의 관계 • 항만물동량과 2차산업은 양의 관계 파악
20	• 과제명: Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe • 연구자(연도): Nocolas Mat et al.(2016) • 연구목적: 마르세이유-포스, 닝보, 울산항 사례조사를 기반으로 항만도시 특성 조사	• 사례조사	• 시간의 흐름에 따른 항만도시의 물동량과 배출량을 분석하고, 거버넌스 변화 글로벌화의 영향 등을 분석

자료: 저자 작성

2. 기존 연구와의 차별성

본 연구와 기존 연구의 차별성은 크게 세 가지이다. 첫째, 본 연구는 스마트기술 적용에 따른 항만도시의 변화 및 발전 방향에 대해 기술했다. 기존 연구들은 스마트기술 등을 적용했을 때 스마트항만, 스마트시티, 기술 트렌드에 대한 현장조사를 기반으로 적용기술을 나열하거나 정책 방향 등을 제시하고 있다. 둘째, 본 연구는 기존 연구와 같이 RCI 분석뿐만 아니라 LQ 지수, 물류성과지수 등을 기반으로 스마트 항만도시라는 개념과 구성요소를 정의하고 설문조사를 기반으로 한국형 스마트 항만도시에 대한 선호도 조사를 실시했다. 이에 반해 기존 연구는 항만도시를 단순히 항만물동량과 인구(RCI, DCI)에 따라 분류한 후 각 항만도시의 특징을 분류하는 것에 그쳤다. 셋째, 본고의 가장 큰 차별점은 스마트 항만도시 구현 여부에 따른 항만도시 간 물류 흐름 변화, 항만도시의 대기오염 정도 변화, 신재생에너지로 생산 가능한 전기생산량을 추정했다는 것이다.

〈표 1-3〉 기존 연구와의 차별성

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
본 연구	• 과제명 : 스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구 • 연구자(년도) : 이언경(2020) • 연구목적 : 스마트 항만도시의 개념 정립 및 효율성, 친환경성, 쾌적성 확보 및 에너지관리를 위한 스마트 항만도시 구축방안 제시	• 국내외 문헌조사 • 전문가 자문회의 • 대기확산모델 • 선호분석(AHP, 컨조인트 분석 등) • 시뮬레이션 • 국제공동연구	• 항만과 항만도시의 관계 및 외부환경 변화 • 국내외 스마트항만·스마트시티 추진 현황 및 문제점 • 한국형 스마트 항만도시 개념 정립 및 발전 방안 • 스마트 항만도시 구축방안 및 효과 분석

자료: 저자 작성

제3절 연구수행 방법론

본 연구에서는 항만도시 연계 발전의 필요성, 스마트 항만도시 구성속성 및 개념 정의, 스마트 항만도시 선호도 분석, 스마트 항만도시 구축 효과 분석을 위해 문헌조사, 국내외 전문가 자문, 설문조사, 통계분석, 계량경제모형 분석, 시뮬레이션 분석, 대기확산 분석 등을 활용했다.

첫째, 항만도시 연계 발전의 필요성을 파악하기 위해 우선 국내외 문헌조사를 기반으로 항만도시의 성장 단계별 특징을 분석하고, 항만도시 및 공급사슬 관련 스마트기술 적용 변화를 파악했다. 그다음 국내외 문헌조사, 전문가 자문, 싱가포르 전문가 설문조사 등을 통하여 물류 흐름, 친환경, 에너지 수급 측면에서 항만도시 간 연계의 필요성과 정책 방향을 파악했다. 해외 선진항만에도 스마트 항만도시 개념이 정립되어 있지 않아 싱가포르 전문가 자문조사 시 현지 전문가 인터뷰 및 설문조사를 활용해 자료를 작성했다.

둘째, 스마트 항만도시 구성속성 및 개념을 정의하기 위하여 우선 항만도시들을 유형화했다. 이를 위하여 지난 5년간(2015~2019년) 세계 항만물동량 상위 20개 항만의 물동량 및 해당 항만도시의 인구 데이터를 가지고 상대적집중도지수(RCI: Relative Concentration Index)를 구한 후, 대상 항만도시가 항만기능과 도시기능 중 어느 쪽이 강한지를 파악했고, 항만 성격을 사사분면의 매트릭스로 분류했다. 그다음 항만도시들의 스마트화 정도를 상대비교하기 위해서 항만도시별 항만산업과 디지털 산업 집중도를 국제표준산업분류(Standard Industrial Classification) 기준 고용데이터를 가지고 입지계수(LQ: Location Quotient)를 계산하여 특징을 파악했다. 한편 상위

20대 항만을 기준으로 현지 전문가에게 의뢰해 표준산업분류 고용데이터를 수집했으나, 몇 개국(중국, 일본 등)은 개별 국가 고유의 산업분류 기준으로 고용데이터를 수집했고, 다수의 국가들은 국가 고용데이터는 있으나 도시 고용데이터를 산업 기준으로 발표하지 않았다. 이에 각 항만도시와 각국의 국제표준산업분류 연차별 고용데이터 수집이 가능하고 연차별 데이터가 모두 있는 항만도시의 3개년(2015~2017년) 자료를 대상으로 LQ 지수를 구했다. 그리고 항만, 국가 및 도시, 물류 경쟁력을 나타내는 지수인 국가경쟁력지수, 물류성능지수, 세계 100대 항만의 컨테이너물동량 및 자동화 도입 여부 등의 값이 모두 있는 2018년 기준 데이터를 이용하여 회귀분석 및 상관관계 분석을 실시해서 스마트 항만도시 관련 변수를 추출하여 구성요소 및 개념을 정의했다.

셋째, 스마트 항만도시 선호도 분석 및 가치 평가를 위해 우리나라 주요 항만인 부산, 인천, 광양, 울산, 평택·당진시에 거주하는 항만도시 500가구를 대상으로 대국민 의식 설문조사를 실시했다. 우선 스마트항만 인지 여부 및 선호하는 항만도시 개발 방향을 파악했다. 그 다음 앞에서 정의된 스마트 항만도시 개념 속성에 대한 선호도를 이용해 항만도시 거주민에 대한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 통해 선호하는 한국형 스마트 항만도시 건설 이미지를 파악했다. 그리고 컨조인트 분석을 통해 스마트 항만도시 개념 속성에 대한 대국민의 지불의사(가치)를 파악했다.

마지막으로 한국형 스마트항만 구축 효과(효율성, 쾌적성 등) 분석을 통해 항만과 도시의 정보 및 관리계획의 연계·통합 필요성을 확인하기 위해 시뮬레이션 모델링과 대기확산모형을 활용하여 분석했다. 우선 한국형 스마트 항만도시의 효율성 개선 효과를 분석하기 위해

항만과 도시 간 트럭 도착정보 공유 여부, 항만도시 관점의 도로계획 여부에 따른 영향을 분석하기 위해 플랜트 시뮬레이션(Plant Simulation) 프로그램을 활용하여 모델링 후 실험을 시행했다. 본 연구에서 실시한 시뮬레이션 분석은 '정보 공유 및 통합 계획(with)', '정보 공유 없는 경우 및 분리 계획 경우(without)'를 비교하는 방식으로 교통데이터, 트럭 도착 분포 등을 가정하여 간단하게 실험했다. 그다음 항만의 환경개선 노력이 항만도시에 미치는 영향을 분석하기 위해 선박자동식별시스템(AIS: Auto Identification System)으로 입출항 선박의 미세먼지 배출량을 추정한 후 대기확산모형을 활용하였다. 또한 항만과 도시 간 정보연계를 위한 스마트화, 친환경화로 전기사용량이 증가할 것으로 예상되므로 항만과 도시 모두 탄소배출을 줄이면서 비용 측면에서는 효율적이고 정전 없이 안정적으로 전기를 공급받을 수 있는 방안이 필요하다. 이에 전문가 자문을 통해 태양광, 풍력, 해조류, 가축분뇨 등을 이용하여 스마트 항만도시의 새로운 에너지 생산·공급방안을 제시했다.

본고의 정책제언은 항만과 도시 관련 6명의 전문가(정부, PA, 도시계획, 스마트시티, 항만도시 관련 책을 작성한 교수 등)를 대상으로 한 자문조사를 통해 수요를 조사했고, 서면 자문 및 정책 수요자 비대면 워크숍을 통해 그 내용을 구체화했다.

〈표 1-4〉 주요 연구내용 및 수행방법

구분	주요 연구내용	연구방법
항만도시 연계 발전 필요성	• 항만도시 성장모형 분석 및 항만도시 관련 스마트기술 분석	• 국내외 문헌조사
	• 국내외 항만도시 연계 특징 분석	• 국내외 문헌조사 • 전문가 자문 및 싱가포르 전문가 설문
스마트 항만도시 구성속성 및 개념 정의	• 항만도시 유형 분류	• 20대 항만의 물동량 및 항만도시 인구(2015~2019년) • RCI(Relative Concentration Index) 지수
	• 항만도시의 스마트화 수준 비교	• 비교대상국의 표준산업분류 종사자수(2015~2017년) • LQ(Location Quotient) 지수
	• 스마트 항만도시 개념 속성 추출	• 국가경쟁력지수, 물류성능지수, 컨테이너물동량, 자동화 여부 데이터(2018년 기준), 6개 선진 스마트항만의 프로젝트 기반 그룹핑 결과 • 회귀분석, 상관관계 분석
스마트 항만도시 선호도 분석 및 가치 평가	• 스마트항만 인지 여부 및 항만도시 개발 방향	• 대국민 의식 설문조사
	• 스마트 항만도시 건설 속성에 대한 선호도 조사	• 대국민 AHP 분석
	• 스마트 항만도시의 구성속성별 가치 평가	• 비시장가치평가 설문조사 • 컨조인트 분석 • 계량경제모형 분석
스마트 항만도시 구축 효과	• 항만과 도시의 정보연계 및 통합계획에 따른 물류효율성 개선 효과	• 문헌조사 및 전문가 자문 • 시뮬레이션 분석
	• 스마트 미세먼지 관리 효과	• 문헌조사 및 전문가 자문 • AIS 기반 연료소모량 추정 • 대기확산 분석(CALPUFF)
	• 항만도시 신재생에너지 활용 가능성	• 문헌조사 및 전문가 자문 • 신재생에너지(태양광, 풍력, 해조류, 가축분뇨) 생산량 추정

자료: 저자 작성

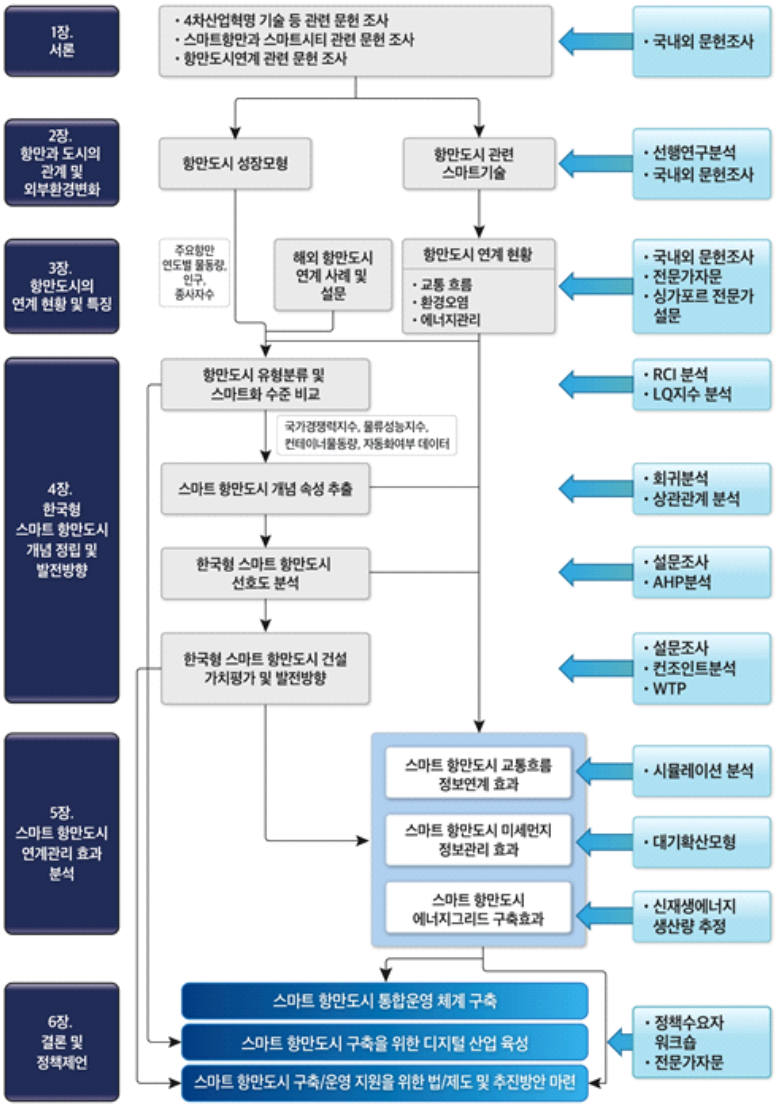
연구수행 흐름은 우선 항만, 도시, 물류 분야에 적용되고 있는 스마트기술과 4차 산업혁명 기술 적용 변화, 스마트항만과 스마트시티 연구, 항만도시 연계 관련 문헌조사를 통해 연구 방향을 설정했다.

그다음 연구는 항만도시 및 기술발전 관점에서 스마트 항만도시를 새롭게 정의하는 것과 스마트 항만도시 구축 필요성과 공감대 형성을 위해 구축 효과를 계산하는 두 가지 축으로 진행된다. 첫 번째 연구 흐름인 스마트 항만도시 개념을 정의하기 위해 스마트 항만도시의 차이점을 항만도시 성장모형 및 유형화를 통해 보여주고, 스마트 항만도시 성격을 가진 함부르크, 네덜란드, 싱가포르 등의 항만물류 생산성, 도시경제 성과 등을 나타내는 지표를 기반으로 스마트 항만도시를 정의한다. 그 이후 항만도시민을 대상으로 한 선호도 조사 및 가치 평가를 통해 한국형 스마트 항만도시의 발전 방향을 제시한다.

두 번째 연구 흐름인 한국형 스마트 항만도시 구축 필요성에 대한 공감대 형성을 위해 항만과 도시의 교통정보 및 환경정보 공유 효과, 신재생에너지 기반 에너지 그리드 사용 가능성까지 제시한다.

결론에서는 본고에서 정의된 스마트항만과 스마트도시가 연계된 스마트 항만도시의 발전 및 현실화를 위하여 항만도시 간 정보 공유 및 계획 수립 등을 위한 통합운영체계, 스마트 항만도시 관련 제품, 인재 등을 육성하는 산업클러스터 구축, 스마트 항만도시의 시범사업 및 사업 추진을 위한 법·제도 지원방안 등의 정책제언을 제시한다.

〈그림 1-1〉 연구수행 흐름도



자료: 저자 작성

제 2 장

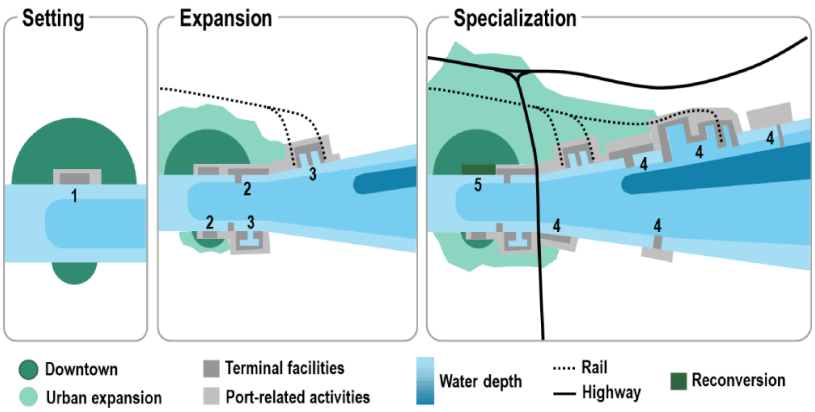
항만과 도시의 관계 및 외부환경 변화

제1절 항만과 도시성장의 관계

항만도시(port city)는 역사적으로 항만으로 인해 형성된 도시로 주로 도시가 항만에 의존하는 교역 중심의 도시를 지칭한다.[9] 항만도시 성장에 대한 최초의 연구는 영국의 상업항을 대상으로 한 Bird(1963)의 6단계 항만성장모델(Anyport Model)이다. 항만이 마을의 작은 부두에서 탄생(1단계)하여 기술진화로 부두가 확장(2단계)된다. 3단계에서는 하역을 위해 도크(dock)가 사용되고 부두가 평면적으로 확장된다. 4단계에는 도크 사용이 점차 활성화되고, 5단계에는 대수심의 선석이 도입되고, 마지막 단계에서는 전용부두기로 외항으로 열린 선형선석이 전체 항만지역을 차지한다.[10]

9) 김춘선 외(2014), p. 34.
10) 위의 책, p. 55; Daamen(2007), p. 3.

〈그림 2-1〉 Bird의 항만성장모델(Anyport Model)

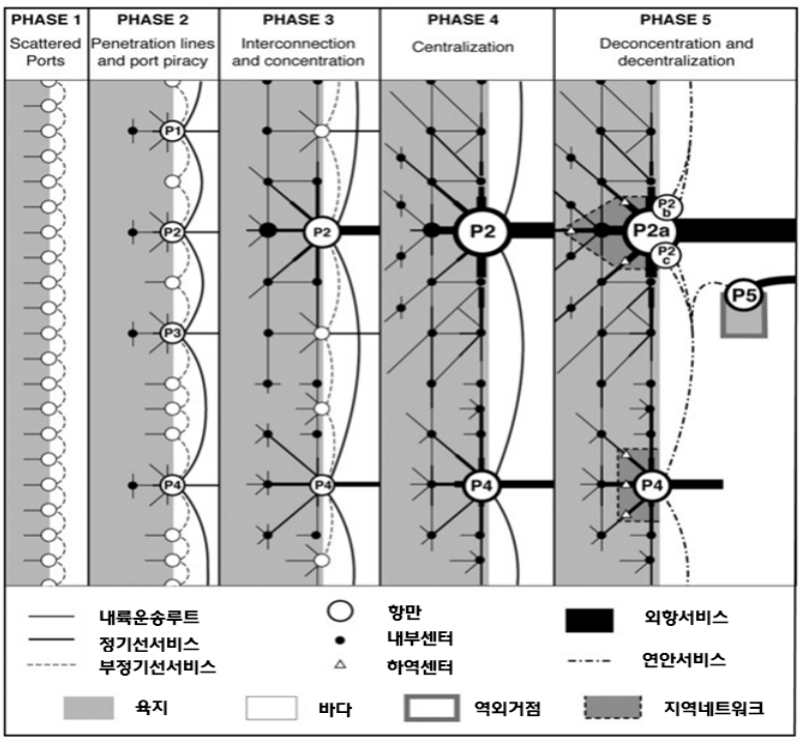


자료: Norcliffe, Bassett, and Hoare(1996), p. 126; Port Economics, https://porteconomicsmanagement.org/?page_id=916(검색일: 2020. 8. 10)

Rimmer(1967)는 호주와 뉴질랜드를 대상으로 화물량 증가, 배후지의 교통망 발전에 따른 5단계 항만 성장과정을 설명했다. 1단계 중소형 항만의 산재(scattered ports) 형태에서 2단계(penetration lines and port piracy)는 교통망이 연계된 항만들이 성장하는 단계이고, 3단계(interconnection and concentration)는 많은 물동량을 보유한 항만들이 더욱 성장·집중하게 되어 상호 연계가 이루어진다. 4단계는 대형 항만을 중심으로 집중화(centralization)되고, 5단계(deconcentration and decentralization)는 상위항만과 하위항만의 구분이 명확해지고 배후지역과 연계되는 개발축이 형성된다.[11]

11) Rimmer(2007), p. 77; 이성우(2006), pp. 38-39 기반 저자 수정.

〈그림 2-2〉 Rimmer의 항만성장모형



자료: Rimmer(2007), p. 77 기반 저자 작성

항만과 도시의 상호작용에 주목한 최초의 연구는 항만-도시 인터페이스(port-city interface)에 대한 개념을 소개한 Hayuth(1982)의 연구가 있다. 항만-도시 인터페이스 공간은 시간이 흐름에 따라 항만과 도시의 공간적, 기능적 연관도가 느슨해짐으로써 전통적인 항만도시의 기능인 수변공간(urban waterfront)으로서의 토지 이용 특성이 약화되어 나타난 항만도시의 경계, 전환지역(area of transition) 공간을 지칭한다.[12] Holye(1988), Norcliffe(1996), Daamen(2007) 등

12) Hayuth(1982), pp. 219-220; Daamen, 앞의 책, p. 6.

많은 학자들은 항만과 도시가 발생 초기와 같이 진화 과정에서 상호 연계되어 발전하는 것이 아니라 항만과 도시경제가 갈수록 단절되고 분리되어 간다고 언급했다.[13]

〈표 2-1〉 Hoyle의 항만도시 성장모델

단계	공간변화	시대	특징
I 항만/도시 시작단계		고대/중세~ 19세기	도시와 항만간 공간/기능적 밀접한 연관성
II 항만/도시 확장단계		19세기~ 20세기초	급속하 상업/산업성장으로 항만이 도시경계에서 발전
III 현대 항만산업도시		20세기 중반	산업성장(특히 정유) 및 컨테이너/로로 도입으로 분리된 공간 요구
IV 항만쇠퇴		1960~ 1980년대	해운기술 발전으로 새로운 항만 등장하고 기존 항만공간 유휴화
V 항만재개발		1970~ 1990년대	구항만지역을 친수공간으로 재생하여 도시기능으로 전환

주: ○ 도시, ● 항만
자료: Hoyle(1997~1998), p. 268 기반 저자 작성

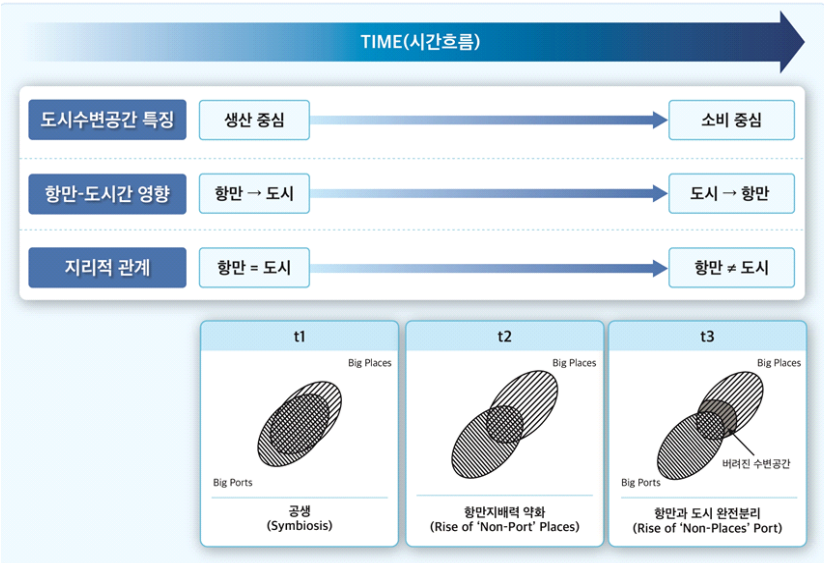
Hoyle(1989)은 항만과 도시의 상호관계에 주목하면서 항만도시의 성장과 분리 현상을 도식화하여 5단계로 설명했다. 1단계는 초기항만도시(primitive port/city)로 고대 중세부터 19세기까지 도시와 항만이 공간과 기능적으로 밀접한 연관도를 가지고 있는 시기이다. 2단계는 항만/도시 확장시기(expanding port/city)로 급속한 산업 성장으로 항만개발 니즈가 증가하여 도시경계 부분까지 항만이 확장되는 시기이다. 3단계는 현대 항만산업도시(modern industrial port/city)로

13) Berghe, Jacobs, and Boelens(2018), p. 55.

컨테이너의 등장으로 더 큰 항만공간을 필요로 하는 시기이다. 4단계는 항만 쇠퇴시기(retreat from the waterfront)로 선박 대형화 등 해운기술 발달로 인한 신규 항만 개발로 구항만이 유휴공간이 되는 시기이다. 5단계는 항만 재개발(redevelopment of the waterfront)로 유휴화된 항만공간이 친수공간으로 개발되어 도시용지로 재생되는 시기이다.

Norcliffe(1996)는 시간이 지남에 따라 항만과 도시의 지리적 관계는 항만과 도시가 통합 발전을 하다가 점차 분리되고, 초기에는 항만이 도시에 영향을 주다가 그 방향이 역전되고, 재화와 서비스 생산 기능의 도시수변공간(urban waterfront)이 소비 기능으로 전환된다고 언급했다.

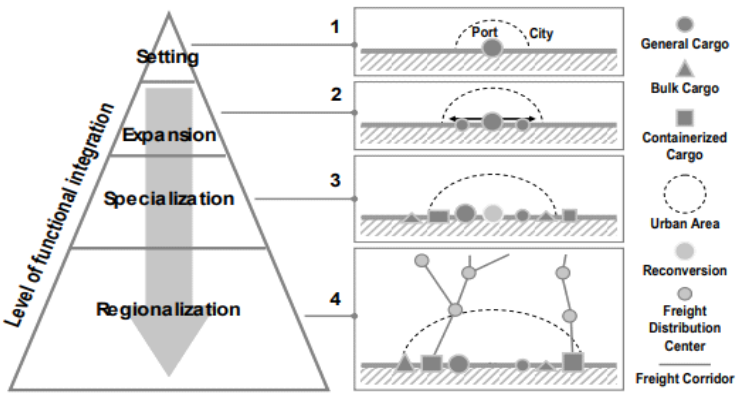
〈그림 2-3〉 Norcliffe의 항만과 도시의 관계 변화



자료: Norcliffe, Bassett, and Hoare(1996), p. 124, 126 기반 저자 작성

Notteboom and Rodrigue(2005)는 Bird의 Anyport 항만성장모델과 연관하여 전통적인 항만 발전과정은 생성(setting) 단계, 물동량 및 승객 증가에 따른 확장(expansion) 단계, 품목별 특화(specialization) 단계 3단계로 나누어진다고 밝혔다. Anyport 모델은 선박 크기 변화, 얼라이언스에 의한 정기선 네트워크 변화 등으로 인한 허브 앤 스포크(Hub & Spoke) 시스템에서 출발한 환적 허브항만으로의 발전과 내륙배후지와의 연계 강화를 설명하지 못하고 있다. 이에 항만 성장에서 내륙화물 물류센터인 항만배후지와 밀접하게 연계되는 항만지역화(port regionalization) 개념을 도입해 항만도시 발전단계를 4단계로 설명했다.

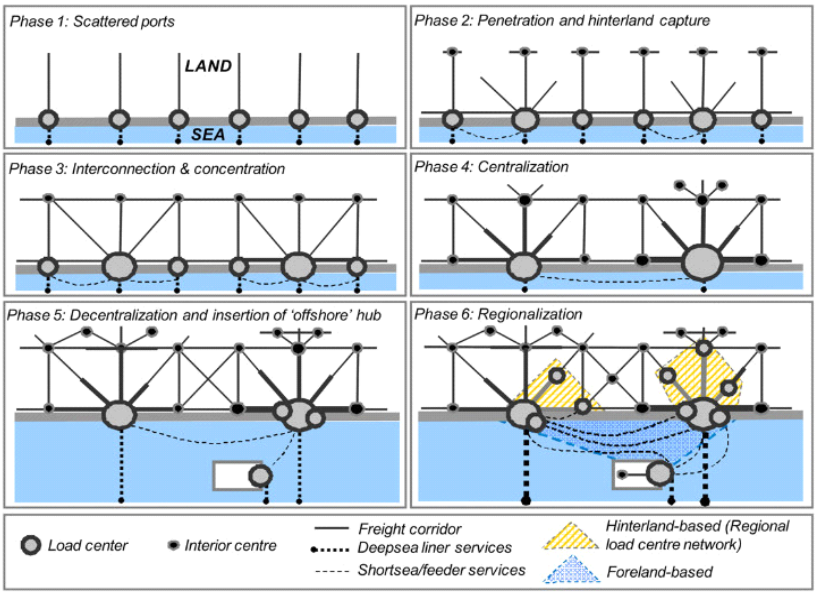
〈그림 2-4〉 Notteboom and Rodrigue의 항만도시 성장단계



자료: Notteboom and Rodrigue(2005), pp. 2-3

Rodrigue and Notteboom(2010)은 Rimmer(1967)의 5단계 항만의 배후지 연계 개념이 국내외 물류 기능을 연계하는 지역화 개념으로 확대된 것이다. 항만은 글로벌 공급사슬 강화로 지향지(foreland-based)와 연계되고, 내륙 인터모달의 강화로 배후지(hinterland-based)와 연계되어 부가가치를 창출하는 중간 물류거점으로 기능이 확대되었다.

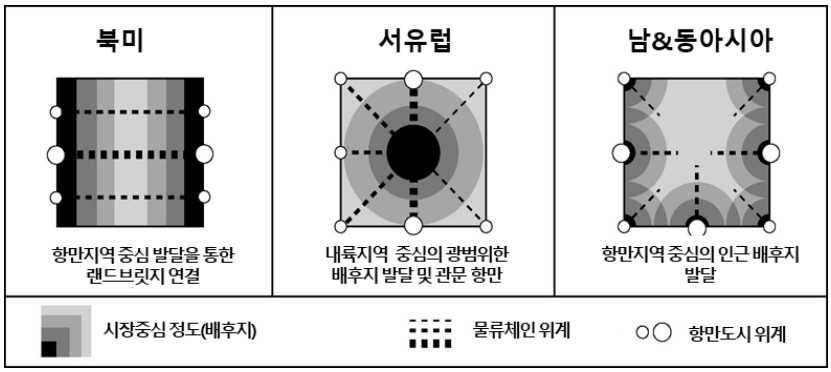
〈그림 2-5〉 Rodrigue and Nottebome의 항만지역화



자료: Rodrigue and Notteboom(2010), p. 21

Lee *et al.*(2008)은 논문에서 유럽, 미국, 아시아 항만과 도시가 다른 공간구조로 발전한다는 것을 설명했다. 북미지역은 동서지역의 해안지역 항만을 중심으로 배후지가 발달한 후 랜드브릿지로 동서 항만축이 연결되는 형태로 발전했다. 서유럽의 항만은 관문 역할을 수행하고, 내륙 지역의 광범위한 배후지를 중심축으로 해서 발전하고 있다. 이에 반해 남아시아와 동아시아는 해안지역의 항만을 중심으로 한 인근 배후지가 발전하고 있다. 또한 이 논문에서는 서유럽 항만은 항만이 쇠퇴되어 도심은 재개발되고 항만 기능은 축소되는 것이 일반적이나, 아시아 허브항만은 항만과 도시가 지속적으로 연계되어 발전할 뿐만 아니라 배후지, 항만공간 확장으로 신규 항만이 건설되는 형태로 발전한다고 하였다.

〈그림 2-6〉 북미, 서유럽, 아시아 지역의 배후지 발전형태 차이



자료: Lee, Song, and Ducruet(2008), p. 374 기반 저자 재작성

Lee and Ducruet(2009)의 연구에 따르면 어항 중심에서 식민지 시대 관문항을 통해 화물이 집하되는 수출입 항만도시로 발전한다. 그 이후 도시를 중심으로 인근 배후산업이 발전한 후 인근 개발도상국의 환적화물 등이 집적되어 글로벌 네트워크가 강화되는 허브 항만도시로 성장한다. 이는 현재 부산시, 인천시, 광양시 등 우리나라 항만도시의 모습이다. 다음 단계로 항만, 철도, 항공 등 교통수단 간 멀티모달 통합, 경제 및 산업의 수직·수평 통합을 통해 글로벌 핵심 허브항만 도시로 확장 가능할 것으로 판단된다.

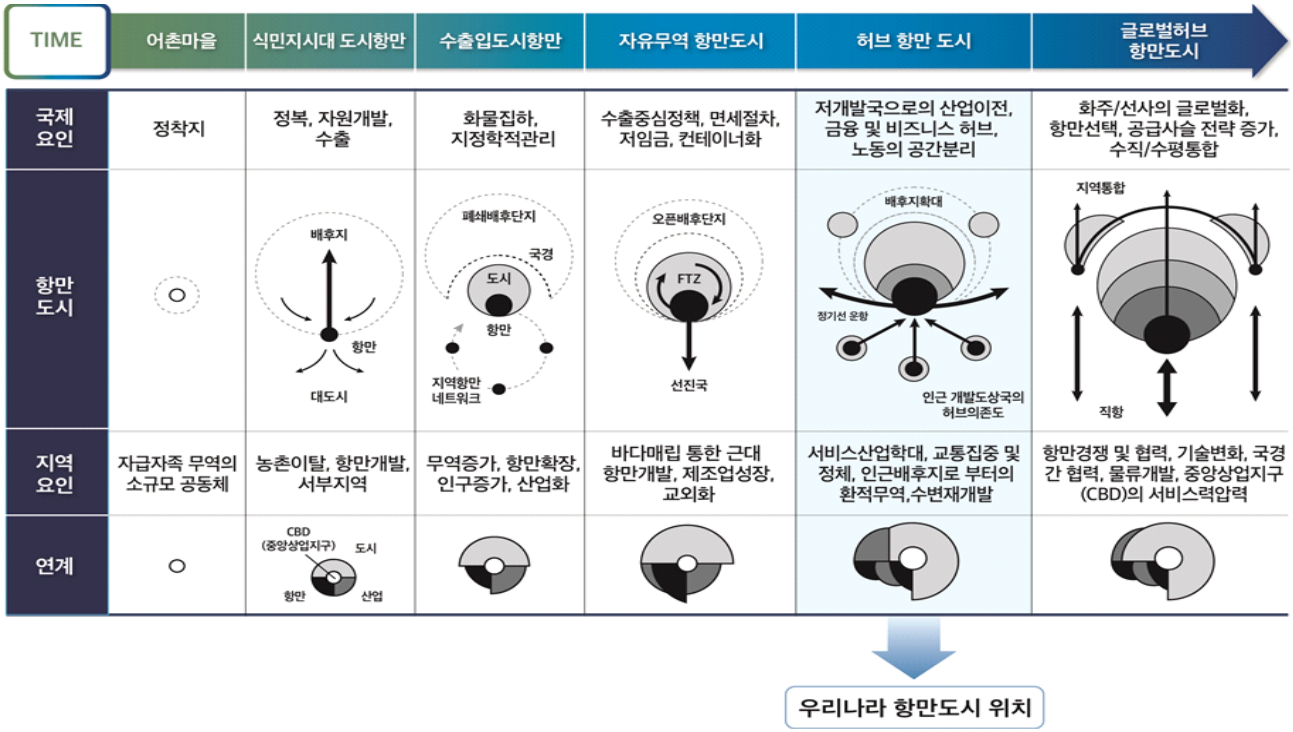
항만도시는 공간구조 관점에서 지속적으로 성장과 변화를 거듭해 나가고 있다. 과거의 항만도시가 항만물동량 등 외형적인 성장에 초점을 맞추어서 성장했다면 현재의 항만도시는 지속적인 성장 관점에서 도시민과 도시가 경제적, 사회적, 환경적, 문화적으로 발전하는 개념으로 바뀌고 있다. 여러 항만도시 발전모델을 기반으로 4차 산업혁명 기술 도입에 따른 항만과 도시 간 비효율성을 없애고 지속가능성 등을 고려하여 항만과 도시 기능이 재활성화되는 새로운 단계의 모델이 나타날 것으로 예상된다.

〈그림 2-7〉 서유럽 및 아시아 항만도시 발전모델 차이

서유럽 항만도시 모델		시대		아시아허브항만도시 통합 모델
초기 도시항만 도시와 항만간 공간 및 기능의 긴밀한 연계		고대/중세~19세기		**어촌마을** 소규모 공동체의 자급자족 목적의 지역무역
확장 도시항만 재빠른 상업/산업성장이 선형부두와 벌크 산업과 함께 도시 경계밖에서 항만이 성장		19세기~20세기초		**식민지시대 도시항만** 지배적인 대외 이익은 자원 수출과 지정학적 위치를 이용해 항만과 도시를 개발
현대 산업화 도시항만 산업성장(특히 석유정제)과 컨테이너/로로 시설 도입은 분리/확장된 공간 요구		20세기 중반		**수출입 도시항만** 무역 확대 및 중계기능으로 바다매립을 통한 현대 항만 개발
항만 쇠퇴 해운기술 변화는 독립된 해운산업 개발 지역의 확대를 유도		1960~1980년대		**자유무역 항만도시** 수출중심 정책은 면세절차와 낮은인건비를 통해 항만시설을 활용한 산업을 유치
항만 재개발 대규모 현대 항만은 육상/해상의 넓은 지역을 필요로하고 기존 도시중심부는 도시재개발		1970~1990년대		**허브 항만도시** 허브기능과 도심에 가까운 지역 압력으로 항만생산성 향상
일반 항만도시 인터모달 교통에 대한 환경문제 우려 증가로, 도시 경제가 비항만도시와 유사하게 발전		1990~2000년대		**글로벌 허브 항만도시** 허브항만의 비용상승 및 배후지 확장으로 기존 항만 활동 유지 및 신규 항만 건설

자료: Lee, Song, and Ducruet(2008), p. 380 기반 저자 재작성

〈그림 2-8〉 항만도시 연계 발전요인



자료: Lee, Song, and Ducruet(2008), p. 380 기반 저자 재작성

제2절 항만도시의 스마트기술 적용 변화

1. 스마트기술

4차 산업혁명 신기술의 등장으로 인해 세계는 지금 말로는 표현할 수 없을 만큼 변하고 있다. 다보스포럼이라고도 불리는 세계경제포럼(WEF: World Economic Forum)의 창시자인 클라우스 슈밥이 2015년 12월 포린어페이스(Foreign Affairs)의 기고문에서 처음 사용한 '4차 산업혁명'은 2016년 다보스포럼에서 발표되면서 대중들에게 알려지기 시작했다. 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등의 기술을 기반으로 산업 전반에 걸친 스마트화가 진행된다는 의미의 4차 산업혁명은 지난 1차부터 3차 산업혁명보다도 산업에 더 큰 파급력을 주고 있다고 한다. 특히 산업혁명을 통한 창조적 파괴는 세상 전체를 바꿀 것이고 새로운 변화에 부응하지 못하고 안주할 경우 영국 리버풀[14]과 미국 디트로이트[15]의 사례와 같이 도태될 것이다.

이에 세계 각국은 4차 산업혁명 시대에 헤게모니를 잡기 위해 기술혁신을 통한 산업 전반의 스마트화를 추진하고 있다. 본고의 연구 대상인 항만과 항만도시 또한 이러한 스마트화가 가속화되고 있으며, 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 기술을 중심으로 기존 시스템의 고도화에 초점을 두고 있다.

사물인터넷이라는 개념은 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)이라는 용어가 등장할 때부터 사용되었다. 유비쿼터스 컴퓨팅은 1988년 마크 와이저(Mark Weiser)가 차세대 컴퓨팅에 대한 비전으로 사

14) 1차 산업혁명 마무리 시점에 내연기관의 등장으로 인해 세계 곳곳에서는 규모의 경제 달성을 위한 대형 선박 생산에 박차를 가했으나 리버풀은 이러한 변화에 미대응하여 도태됨.
15) 두 차례의 오일쇼크에 의한 자동차 소형화 요구에 대응하지 못해 일본 도요타에 미국 시장 허용.

용한 용어로 '언제, 어디서나 컴퓨팅 능력(Computing Power)을 활용할 수 있는 환경'을 의미하며, 이는 센서나 칩 형태의 컴퓨터가 들어가 지능화된 사물과 사람이 유·무선 네트워크로 연결되어 쌍방향으로 작동하고 소통하는 것을 말한다.[16]

이러한 유비쿼터스 기술은 2000년대로 넘어오면서 기계 간 통신(M2M: Machine-to-Machine)이라는 새로운 개념으로 발전했으며, 최근 사물인터넷이라는 개념까지 고도화되었다. 사물인터넷이란 인터넷을 기반으로 모든 사물을 연결하여 사람과 사물, 사물과 사물 간의 정보를 상호 소통하는 지능형 기술 및 서비스를 말하는 것으로 유비쿼터스나 기계 간 통신과 비슷하지만, 통신을 인터넷으로 확장함으로써 사물은 물론이고 현실과 가상세계까지 연결했다는 것에서 보다 진화한 단계라고 할 수 있다.[17]

가트너는 2020년 공급사슬 부분의 8대 물류기술 전망을 발표했는데, 비즈니스 관점의 자동화, 실시간·저지연 전송 및 분석 체계, 디지털 트윈 기반 지능화 등 다양한 기술이 적용될 전망이다. 이는 항만도시의 물류 흐름에 다양한 영향을 줄 것으로 판단된다.

〈표 2-2〉 가트너 공급사슬의 스마트기술(2020년)

구분	정의
하이퍼 자동화 (Hyperautomation)	• 업무·이벤트 자동화→프로세스 자동화→비즈니스 자동화 • 단순 자동화와 구분되고 공급사슬 전체 비즈니스 관점의 지능화된 의사결정을 하는 자동화
디지털 공급사슬 트윈 (Digital SC Twin)	• 물리적 공급망을 디지털화한 것으로 공급사슬 내 모든 의사결정을 지원

16) 이재용(2015. 5), 「사물인터넷으로 진화하는 스마트도시 추진현황」, p. 43.
17) 박영태(2015. 9), 「국내외 물류산업의 사물인터넷(IoT) 현황과 발전방향에 관한 연구」, p. 142.

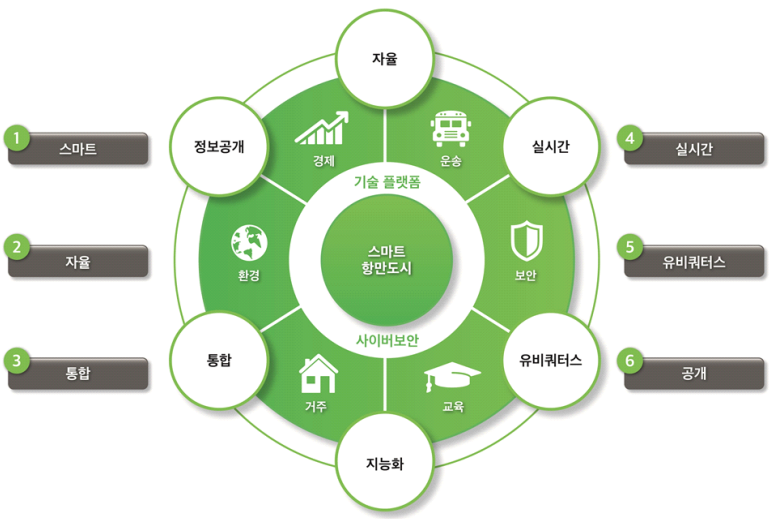
구분	정의
지속적인 지능화 (Continuous Intelligence)	• 조직의 디지털화 또는 전환을 가속화되고 빠른 속도의 데이터 처리로 보다 나은 의사결정이 가능
공급사슬 거버넌스 및 보안 (SC Governance & Security)	• 해킹 등 사이버테러, 데이터 보안 분야의 해법으로 데이터 추적 솔루션, 스마트 패키징, RFID 등이 해당됨
엣지 컴퓨팅 및 분석 (Edge Computing & Analytics)	• 지연 전송의 문제를 해결하고 실시간 의사결정을 위해서 IoT 기술을 활용하여 자료 수집 지점과 가까운 곳에서 처리하는 기술
인공지능 (Artificial Intelligence)	• 복잡한 콘텐츠 이해, 사람과 유사한 의사결정을 하도록 고도화되어 떨어져 있거나 이질적인 이해관계자 네트워크 전반의 가시성과 통합이 가능
5세대 통신 (5G Network)	• 5G 네트워크로 지연시간을 최소화하고 실시간 가시성 향상, IoT 기능 향상으로 고화질의 정확한 동영상 전송·분석이 가능
몰입경험 (Immersive Experience)	• 증강현실, 가상현실 등의 상호작용으로 몰입형 실무교육을 통해 인간의 능력을 향상시키고, 기업은 실무 전에 확인 가능

자료: Gartner(검색일: 2020. 10. 20)

Deloitte(2020)는 스마트도시의 스마트, 자율성, 통합, 개방·공유, 유비쿼터스, 실시간 등 여섯 가지 기술적 프레임워크를 제시했다. 스마트기술은 금융, 의학, 보안 분야 등에서 인간을 위해서 AI, 빅데이터 기반 의사결정을 가능하게 한다. 자율성 기술은 5G와 AI 분석을 기반으로 인간의 간섭없이 상호 연결된 카메라, 스마트 가로등 등을 자율적으로 작동시킨다. 통합기술은 전체의 가치를 위해 기술들이 특정 시나리오를 결합시킨다. 실시간 기술은 5G 기술을 활용하여

지연시간을 해결해 효율성을 개선시킨다. 유비쿼터스 기술은 5G 네트워크를 통해 스마트시티 내에서 언제 어디서나 정보를 수집, 전송, 사용할 수 있도록 한다. 개방성 기술은 스마트도시에서 정보 공유를 위해 정보는 표준화되고 사용자들이 손쉽게 접근가능하도록 한다.

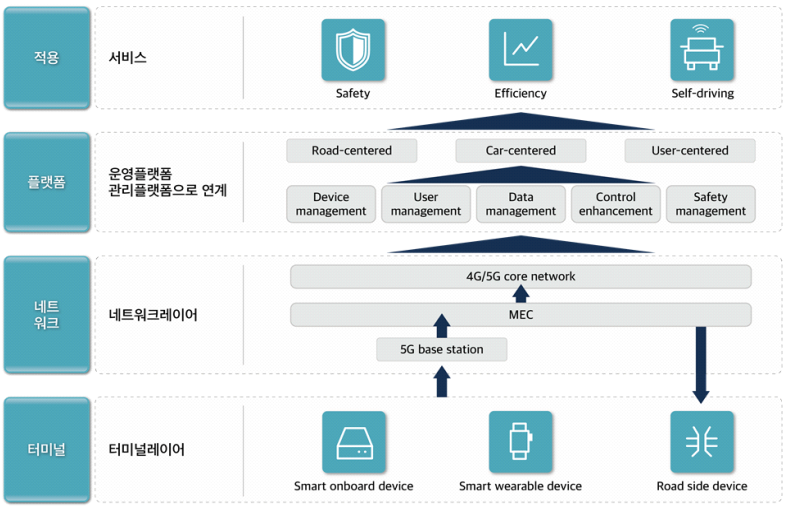
〈그림 2-9〉 스마트시티의 기술적 프레임워크



자료: Deloitte(2020. 6), p. 16 기반 저자 작성

예를 들면 5세대 통신을 이용한 교통 흐름 체계 변화를 살펴보면, 안전성, 효율성, 자율운송 서비스를 위해 터미널 레이어에서 스마트 디바이스를 장착하고 네트워크 레이어에서 5G를 통해 플랫폼 레이어에서 도로, 차, 사용자의 관리 및 운영을 실시해야 한다.

〈그림 2-10〉 5G 기반 스마트 교통시스템 프레임워크



자료: Delloite(2020. 6), p. 16 기반 저자 작성

2. 항만 관련 스마트기술 발전 동향

1) 항만 관련 스마트기술 발전 동향

2000년대 초반 유비쿼터스 기술의 등장으로 인해 항만의 유비쿼터스화, 즉 U-Port로의 전환이 추진되었다. 하지만 초기 유비쿼터스 기술의 한계로 인해 모든 이해관계자들이 만족할 수 있는 결과물이 도출되지 않아 관련 기술개발 및 사업 추진이 주춤했으나 최근 IoT의 등장으로 인해 IoT 항만 관련 기술개발과 사업이 시작됨에 따라 다시 각광 받고 있다.

초기 U-Port의 핵심기술은 RFID(Radio Frequency IDentification)와 USN(Ubiquitous Sensor Network)[18]이었다. RFID는 인식번호와

18) 해외에서는 WSN(Wireless Sensor Network)으로 많이 사용.

같이 간단한 정보를 가지고 있는 태그(Tag, Transponder로도 불림)와 이를 읽어 들이는 리더(Reader, Interrogate로도 불림) 간 단방향 통신 기술로 주로 태그가 부착된 사물을 인식하기 위해 사용되었다. USN은 RFID가 단방향으로 정적(Static) 정보만을 제공한다는 문제점을 해결하여 온·습도, 충격과 같은 동적(Dynamic) 정보를 양방향으로 교환하는 기술이다. 이를 위해 RFID와 달리 ZigBee와 같은 센서 간 통신기술을 사용하는 것이 특징이다. 하지만 이러한 RFID, USN 기술은 데이터 전송량·속도 한계, 동시 연결 가능 사물 수 제한 등의 기술적 한계로 인해 실제 적용 시 많은 문제를 야기했고 적용이 확대되지 않았다.

최근 IoT와 관련된 기술이 등장함에 따라 기존 U-Port의 한계를 극복하기 위한 IoT 기반 스마트항만 연구들이 추진되고 있다. 스마트항만의 핵심기술은 NB-IoT, LoRa, LTE-M 등의 IoT 통신기술과 차세대 이동통신망인 5G 기술로 볼 수 있다. 이 중 IoT 통신기술은 기존 유비쿼터스 기술의 한계였던 데이터 전송량·속도, 동시 연결 가능 사물 수, 배터리 등의 문제를 모두 해결함으로써 저전력, 고성능의 디바이스 개발이 가능한 기술이다.

지난 2019년 해양수산부와 해양수산과학기술진흥원에서는 IoT를 통한 항만의 스마트화를 목표로 하는 'IoT 기반 지능형 항만물류 기술개발사업'을 시작했다. 동 사업은 항만의 모든 자원, 즉 장비, 컨테이너, 작업자, 트럭 등에 IoT 장비를 부착함으로써 위치 및 상태를 추적하고 이를 통해 안전하고 효율적인 항만을 구축하는 것이 목적이다. 동 사업은 IoT 기반 위치 및 상태 추적 디바이스 개발, 작업자용 웨어러블 디바이스 개발, AI 기반 터미널 운영시스템 개발 등 스마트기술 개발 중심으로 진행되고 있으며, 이는 2022년 개발이 완료되어 부산항에 적용될 예정이다.

최근 글로벌 항만들은 이러한 IoT, AI 등 스마트항만 기술을 기반으로 항만 고도화를 추진하고 있으며, 이와 관련된 사례는 다음 목에서 소개하고자 한다.

2) 항만 관련 스마트기술 해외 적용 사례

해외 스마트항만 도입 사례로는 싱가포르, 일본 등이 있으며, 싱가포르는 NGP 2030(Next Generation Port 2030), 일본은 PORT 2030과 같은 국가계획을 기반으로 스마트화 실현 과제들을 추진하고 있다.

(1) 싱가포르

먼저 싱가포르는 최근 물동량 증가 및 선박 대형화로 인해 항만의 물리적 확장만으로는 대응이 어렵다고 판단하여 TUAS 항만으로의 이전을 결정하는 동시에 스마트화를 추진하고 있다. 싱가포르의 스마트항만 정책은 국가계획인 NGP 2030을 기반으로 추진되고 있으며, 안전/보안, 효율화, 지능화, 친환경의 네 가지 목표를 가지고 있다.[19]

이러한 목표를 실현하기 위해 총 10개 과제를 추진 중이며, 이를 정리하면 다음 표와 같다.

〈표 2-3〉 싱가포르항 스마트항만 추진 목표별 프로젝트

목표	과제	비고
효율화	• 선박 재항시간 감소를 위한 JIT 계획 및 협력 시스템 • 해운 싱글윈도우	물류효율성
안전/보안	• 변칙상황 감지 및 예측을 위한 해운감지시스템 (Maritime Sense Making System) • 차세대 VTMS(Vessel Traffic Management System)	물류효율성

19) 해양수산부(2020. 3), 『스마트 육상-해상물류 연계 효율화 방안 연구』, p. 73.

목표	과제	비고
지능화	• 해운항만 서비스 디지털 플랫폼(블록체인 등) • 디지털 및 자동화 기술 기반 지능형 화물 터미널 • 자율주행선박 인터페이스 및 감시/검사/배송 드론 • 급유선/페리/예인선 자동화 및 원격 모니터링/분석/유지보수 기술	물류효율성
친환경	• LNG 선박, 배터리 AGV, 태양열에너지, 그린빌딩 기반 지속 가능한 항만 • 친환경 공동체 지향 항만	친환경화/에너지관리

자료: Tham Wai Wah(2018. 6. 13), "Port Development of Singapore", pp. 9-13 참고하여 저자 작성

싱가포르항의 스마트항만 추진 목표 중 효율화, 안전/보안, 지능화 등의 세 가지는 항만 스마트화 네 가지 측면 중 물류효율성과 관련 있는 것으로 효율성 및 안전/보안 향상을 위한 싱글윈도우, VTMS 등의 주요 시스템 개발과 지능화를 위한 디지털 플랫폼, 드론 및 자동화 기술개발 등을 포함하고 있다. 싱가포르항의 친환경 목표는 물류효율성을 제외한 나머지 세 가지 목표를 모두 포함하고 있으며, LNG 선박, 배터리 AGV, 태양열에너지 등 친환경 기술이 적용된 항만을 구현하는 것을 주요 내용으로 한다.

(2) 일본

일본 국토교통성에 따르면 고령화로 인해 2050년 생산인구 비중이 절반 이하로 떨어질 것이라고 하며,[20] 노동력 부족으로 물류효율성이 급격히 떨어질 것으로 예측되고 있다. 또한 일본은 대형 지진, 태풍 등으로 인해 항만 인프라의 파손 및 노후화가 증가하고 있어 이러한 문제들을 기술혁신으로 해결하기 위해 스마트항만을 추진하고 있다.

일본은 연결된 항만, 고급화된 항만, 스마트항만 등 세 가지 목표를

20) 일본 국토교통성, https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html(검색일: 2020. 2. 15)

가진 PORT 2030을 추진하고 있으며, 이를 실현하기 위한 8개의 구체적인 전략을 다음 표와 같이 세우고 있다.[21)]

〈표 2-4〉 일본 PORT 2030의 목표 및 전략

구분	내용	비고
목표	• Connected Port: 일본을 세계와 연결하는 항만 • Premium Port: 새로운 가치를 창출하는 항만 • Smart Port: 4차 산업혁명을 선도하는 항만	-
전략	• 글로벌 밸류체인 지원을 위한 해상수송망 구축 • 지속가능한 새로운 가치를 창조하는 물류체계 구축 • 일본 열도의 크루즈 아일랜드화 추진 • 브랜드 가치를 만드는 공간 형성 • 새로운 자원 에너지 수급 및 공급 거점 형성 • 항만물류 활동의 친환경화 • 정보통신기술을 활용한 항만 스마트화 강화 • 항만건설 및 유지관리 기술 변혁과 해외 진출	물류효율성 물류효율성 물류효율성 도시재생 에너지관리 친환경화 물류효율성 물류효율성

자료: https://www.lotis.or.kr/tid03v.do?cn_id=2019072400005&cn_type_cd=TID&MENU_ID=TID00 참고하여 저자 작성

앞서 언급한 항만 스마트화 목표 네 가지 중 물류효율성과 관련 있는 전략은 5개, 나머지는 도시재생, 에너지 관리, 친환경화가 각각 1개씩 관련 있는 것으로 분석된다.

이 중 '정보통신기술을 활용한 항만 스마트화 강화'는 대표적인 스마트항만 추진 전략으로 ICT를 기반으로 항만 관련 정보와 무역절차를 전자화 및 표준화하는 것이다. 이를 통해 '항만의 완전 전자화'를 목표로 하고 있으며, 세계 최고 수준의 생산성을 보유한 인공지능 터미널을 실현하기 위해 관련 사업을 추진하고 있다.[22)]

21) https://www.lotis.or.kr/tid03v.do?cn_id=2019072400005&cn_type_cd=TID&MENU_ID=TID00(검색일: 2020. 5. 7).
22) https://www.lotis.or.kr/tid03v.do?cn_id=2019103100004&cn_type_cd=TID&MENU_ID=TID00(검색일: 2020. 5. 7).

이 외에도 '지속가능한 새로운 가치를 창조하는 물류체계 구축', '브랜드 가치를 만드는 공간 형성', '항만물류 활동의 친환경화' 등 스마트항만을 구축하기 위한 전략을 추진하고 있다.

〈그림 2-11〉 일본 PORT 2030 추구 인공지능 터미널



자료: https://www.lotis.or.kr/tid03v.do?cn_id=2019103100004&cn_type_cd=TID&MENU_ID=TID00(검색일: 2020. 5. 7)

3. 항만도시 관련 스마트기술 발전 동향

1) 항만도시 관련 스마트기술 발전 동향

2004년 2월 정보통신부(현 방송통신위원회)에서는 IT839 전략을 수립하여 국내의 IT 산업을 총체적으로 발전시키겠다는 전략을 제시하였으며, 2006년 2월에는 기존의 IT839 전략을 수정·보완한 U-IT839 전략을 제시함으로써 U-City 사업이 본격적으로 추진되었다.[23] 특히 2008년 「유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률」[24]이 시행됨에 따라 지자체를 중심으로 U-City 광풍이 일기 시작했다.

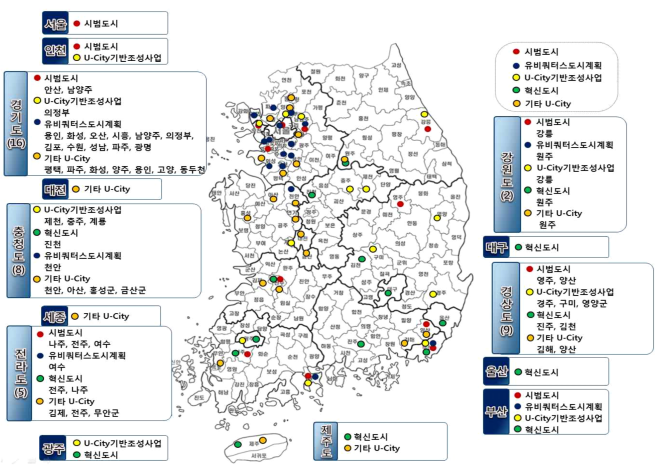
23) Shin(2013. 12. 31), *Smart City, A Primer on Korean Planning and Policy*, p. 25.
24) 동 법은 최근 스마트 개념의 등장으로 인해 '스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률'로 개정.

이러한 U-City는 도시화 및 도시집중에 따른 교통혼잡, 주택환경 악화, 실업 발생, 가용지 부족, 치안 부재, 도시재난 방지를 위한 목적으로 구축되었으며, 〈그림 2-12〉와 같이 2012년 12월 기준 약 50여 개의 도시에서 수행된 것으로 조사되었다.[25]

초기 U-City의 핵심기술은 앞에서 설명한 U-Port와 마찬가지로 RFID와 USN이었다. 하지만 여러 기술적 한계로 인해 점차 기계 간 통신(M2M), IoT 같은 첨단기술로 변화되기 시작했다.

최근 IoT, 빅데이터, AI 등과 같은 4차 산업혁명 신기술의 등장에 힘입어 기존 U-City는 각종 도시문제 해결을 위한 스마트시티로의 전환이 추진되고 있다. 스마트시티로의 전환은 에너지, 환경, 교통, 방법 등 다양한 분야에 걸쳐 추진되고 있으며, 전 세계 스마트시티 프로젝트의 약 70%가 에너지, 교통, 안전 등 3대 스마트시티 요소에 집중될 것으로 전망되고 있다.[26] 이와 관련된 해외 사례를 살펴보면

〈그림 2-12〉 우리나라 U-City 분포 (2012년 12월 기준)



자료: 이충현·한동훈·임춘성(2014. 4), 「U-City 사업평가모델 개발 및 적용사례 분석」, p. 6.

25) 이충현·한동훈·임춘성(2014. 4), p.44.
26) 이재용 외(2016. 12), p. 6.

〈표 2-5〉와 같이 상하수도 누수 문제, 교통혼잡 문제, 쓰레기 배출 문제, 에너지 절감 문제 등을 해결하기 위해 스마트기술을 적용한 것으로 조사됐다.

〈표 2-5〉 해외 스마트도시 적용 사례

적용대상	적용방법	기대효과	해외 사례
상하수도	도시 상하수도 시스템에 누수탐지 센서 부착	40~50% 누수예방	카타르 도하/ 브라질 상파울로/ 중국 베이징
고속도로	카메라와 센서로 고속도로 지능화	통행소요시간 25%, 교통사고 50%, 대기오염 10% 감소	영국 M42 고속도로
쓰레기	가정용 쓰레기통에 RFID 태그 부착해 배출량 모니터링	쓰레기 배출량 17% 감소, 재활용 쓰레기 49% 증가	미국 신시내티
가로등	가로등에 센서 부착해 인구 밀집도에 따라 밝기 자동조절	연간 30% 에너지 절감	스페인 바르셀로나

자료: 이재용 외(2016. 12), p. 6

최근 함부르크, 로테르담 등 글로벌 항만도시들은 IoT, AI 등 스마트기술을 기반으로 도시문제 해결을 추진하고 있으며, 이와 관련된 사례는 다음 목에서 소개하고자 한다.

2) 항만도시 관련 스마트기술 해외 적용 사례

해외 스마트 항만도시 도입 사례로는 독일, 네덜란드 등이 대표적이며, 독일은 HPA의 SMARTPORT 프로젝트, 네덜란드는 지식 플랫폼인 SmartPort를 통해 스마트화를 추진 중인 것으로 조사되었다.

(1) 독일

독일의 대표적인 항만인 함부르크항에서는 HPA(Hamburg Port

Authority)에서 SMARTPORT라는 스마트항만 구축 프로젝트를 진행하고 있다. 해당 프로젝트는 크게 두 가지 목표가 있으며, 교통, 인프라, 물류이동에서의 지능화를 목표로 하는 SMARTPORT LOGISTCS와 재생에너지, 에너지 효율화, e-모빌리티 구현을 목표로 하는 SMARTPORT ENERGY가 있다. 또한 〈표 2-6〉과 같이 10개의 세부 추진과제가 있으며, 물류효율성과 관련된 과제가 7개, 친환경화와 관련된 과제가 3개 있는 것으로 조사되었다.

〈표 2-6〉 함부르크항 SMARTPORT의 목표 및 추진과제

구분	내용	비고
목표	• SMARTPORT LOGISTICS: 교통, 인프라, 물류이동 영역에서의 지능화 • SMARTPORT ENERGY: 재생에너지, 에너지 효율화, e-모빌리티 구현	-
추진 과제	• Navigation in Real-Time (트럭 내비게이션)	물류효율성
	• Shore Power from Renewable Energies (재생에너지 기반 크루즈선 AMP)	친환경화
	• Intelligent Railway Point (철도 모니터링 시스템)	물류효율성
	• The Mobile All-Purpose Sensor (모바일 GPS 기반 측정 센서)	물류효율성
	• Smart Maintenance (IT 기반 스마트 유지보수)	물류효율성
	• Virtual Depot (클라우드 기반 공컨테이너 이동 최적화)	물류효율성
	• Port Monitor (항만 통합관제 시스템)	물류효율성
	• E-Mobility in the Port (e-Taxi 등 전기자동차)	친환경화
	• Parking for Professionals (트럭 주차 정보시스템)	물류효율성
	• Renewable Energies (태양열, 바이오에너지 등)	친환경화

자료: https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport(검색일: 2020. 5. 13) 참고하여 저자 작성

이를 통해 개발된 대표적인 시스템으로 DIVA(Dynamic Traffic Volume Information System)와 항만 도로관리센터가 있으며, 도로, 해상, 항만 정보를 통합적으로 분석해 운전자들에게 LED 전광판으로 제공함으로써 항만 주변 도로 정체를 줄일 수 있었다. 최근에는 솔로몬이라고 부르는 해상 드론을 투입해 수심 측정과 같은 작업을 자동으로 수행하기 위한 연구도 진행 중인 것으로 조사되었다.

〈그림 2-13〉 HPA 해상드론



자료: https://youtu.be/fiZYMCvmvDI(검색일: 2020. 5. 13)

〈그림 2-14〉 HPA 항만 도로관리시스템 화면



자료: HPA, Port of Hamburg-digital Gateway to the World(검색일: 2020. 5. 13)

(2) 네덜란드

네덜란드의 로테르담항은 유럽에서 가장 많은 컨테이너를 처리하는 항만으로 최초의 완전무인자동화터미널인 ECT(Europe Container Terminal)를 비롯하여 최근 개장한 RWG(Rotterdam World Gateway) 등 전 세계에서 가장 많은 완전무인자동화터미널을 보유하고 있는 항만이다. 하지만 대기오염 문제, 운영비용 절감, 항만 노후화 등의 산업화 및 사회변화로 인한 문제가 발생하고 있어 항만 재개발 요구가 늘고 있다. 이를 타개하기 위해 로테르담항은 디지털화 및 정보연계를 기반으로 하는 스마트항만으로의 전환을 추진 중이다.

네덜란드에서는 기관 간 제휴 및 연구자금 지원, 공공지식 보급 등을 통해 로테르담항의 혁신을 가속화하기 위한 지식 플랫폼인 SmartPort[27]를 중심으로 스마트항만을 추진하고 있다. SmartPort에는 로테르담항만공사를 비롯하여 로테르담 지자체, 에라스무스대학, 델프트공대 등이 참여하고 있으며, 크게 스마트 물류, 스마트 에너지 및 산업, 미래형 인프라 등 세 가지 분야로 구분되어 과제들이 진행되고 있다.

먼저 스마트 물류 분야는 로테르담항을 동 분야의 선구자로 자리매김하기 위한 것으로 지속가능하고 믿을 수 있고 효율적인 공급사슬을 구성하는 내용을 포함하고 있다. 크게 데이터 주도형 물류, 물류 자체 조직화와 관련된 프로그램이 수행되고 있으며, 현재까지 131개 파트너가 참여해 20개 프로젝트가 완료, 17개 프로젝트가 진행되고 있다.

스마트 에너지 및 산업 분야는 최적의 성능 및 지속가능한 석유화학

27) https://smart-port.nl/en(검색일: 2020. 5. 13)

클러스터 구축에 중점을 두고 있으며, 이를 통해 지속가능한 에너지 생산, 사용, 보관에 관한 연구를 수행 중이다. 63개의 파트너가 참여해 현재까지 11개 프로젝트가 완료, 12개 프로젝트가 진행되고 있다.

〈표 2-7〉 로테르담항 SmartPort 플랫폼의 목표 및 추진과제

구분	내용	비고
목표	• 로테르담항의 혁신 가속화 – 기관 간 제휴, 과학기술 연구자금 지원, 공공지식 보급을 위한 중립적 지식 플랫폼	–
추진과제	• Smart Logistics (효율적인 공급망 구성) – 프로젝트 20개 완료, 17개 진행 중 • Smart Energy & Industry (최적의 지속가능한 석유화학 클러스터) – 프로젝트 11개 완료, 12개 진행 중 • Future Proof Port Infrastructure (미래 항만 인프라) – 프로젝트 11개 완료, 7개 진행 중	물류효율성 친환경화 에너지관리

자료: https://smart-port.nl/en(검색일: 2020. 5. 13) 참고하여 저자 작성

마지막으로 미래 항만 인프라 분야는 해운 인프라와 내륙수로 양쪽의 스마트한 활용을 통해 항만 영역의 부가가치 최적화에 중점을 두고 있으며, 자연, 환경, 사람, 기업 등에 대한 피해가 최소화되는 항만 건설개발을 주도하는 것이 주요 내용이다. 총 16개의 파트너가 참여하고 있으며, 11개의 프로젝트가 완료되었고 7개의 프로젝트가 진행되고 있다.

4. 소결

기술발전으로 인해 항만과 항만도시는 점차 스마트해지고 있다. 최초 유비쿼터스 기술의 등장으로 인해 항만은 U-Port, 도시는 U-City

로의 변화를 꾀했다. 하지만 주로 사용되었던 RFID, USN 등 네트워크 및 센서 기술의 한계로 목표로 하는 결과물을 얻을 수 없었다. 10년 뒤 통신기술과 센서 기술의 비약적인 발전으로 모든 사물 간 통신이 가능한 IoT가 등장함에 따라 항만과 도시는 다시 스마트포트, 스마트시티로 전환하고 있다. 국내외 많은 도시들이 스마트시티를 추진하는 것으로 조사되었고, 이 중 글로벌 항만도시들도 포함된 것을 알 수 있었다. 즉 항만과 도시는 기술적 변화에 적응하기 위해 유비쿼터스 항만, 유비쿼터스 도시를 시작으로 최근에는 사물인터넷, 5G 등을 중심으로 스마트항만, 스마트도시까지 개념적 변화를 꾀하고 있다. 항만도시는 그린필드 관점의 전면 재개발뿐만 아니라 교통체증, 시설 노후화 등으로 인해 발생한 기존 항만도시의 문제를 극복하기 위해 스마트기술을 접목한 브라운필드관점의 도시재생 개념도 진행되고 있다.

앞의 해외 항만도시 사례에서 볼 수 있듯이 현재 전 세계 항만과 도시의 스마트화 추진 방향은 물류효율성, 친환경화, 에너지 관리 세 가지 측면에서 진행되고 있으며, 각국에서는 이를 위해 다양한 과제를 수행하고 있다.

먼저 물류효율성은 증가하고 있는 항만물동량과 도시 내 교통체증, 고령화 등에 대응하기 위한 기술혁신을 목표로 스마트화를 추진하는 것을 말한다. ICT를 활용한 최적화 시스템, 통합관제시스템, 무인자동화시스템 개발 등이 여기에 해당된다.

다음으로 친환경화는 선박 및 항만 장비에서 배출되는 미세먼지(PM), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등을 줄이기 위한 기술혁신을 말한다. 대표적인 사례로 친환경 선박 및 스크러버 개발, 항만장비 전기화, AMP 도입 등이 있으며, 최근 IMO 등의 권고로 친환경 기

술개발이 적극적으로 추진되고 있다.

마지막으로 에너지 관리는 향후 항만과 주변 도시의 전력 사용량이 증가할 것에 대비해 무조건 발전소를 짓기보다는 전력을 효율적으로 배분해 사용하자는 의미의 기술개발을 말한다. 스마트그리드와 같은 기술이 대표적인 예로 우리나라를 비롯한 다른 국가에서도 도시 전력 문제를 해결하기 위해 도입을 추진하고 있다.

따라서 다음 장에서는 우리나라에 적합한 스마트항만도시 구축 방향을 설정하기 위해 물류효율성, 친환경화, 에너지관리 측면에서의 우리나라 항만도시의 현황 및 문제점을 파악하고자 한다.

〈표 2-8〉 국가별 스마트항만 추진내용 종합

구분	싱가포르[1]	일본[2]	독일[3]	네덜란드[4]
물류 효율성	• 선박재항시간 감소를 위한 IT 계획 및 협력 시스템 • 해운 싱글윈도우 • 변칙상황 감지 및 예측을 위한 해운감지시스템 • 차세대 VTMS(Vessel Traffic Management System) • 해운항만 서비스 디지털 플랫폼(블록체인 등) • 디지털 및 자동화 기술 기반 지능형 화물 터미널 • 자율주행선박 인터페이스 및 감시/검사/배송 드론 • 급유선/페리/예인선 자동화 및 원격 모니터링/분석/유지보수 기술	• 글로벌 밸류체인 지원을 위한 해상 수송망 구축 • 지속가능한 새로운 가치를 창조하는 물류체계 구축 • 일본 열도의 크루즈 아일랜드화 추진 • 정보통신기술을 활용한 항만 스마트화 강화 • 항만건설 및 유지관리 기술 변혁과 해외 진출	• 실시간 트럭 내비게이션 • 지능형 철도 모니터링 시스템 • 모바일 GPS 기반 측정 센서 • IT 기반 스마트 유지보수 • 클라우드 기반 공컨테이너 이동 최적화 • 항만 통합관제 시스템 • 트럭 주차 정보시스템	• 효율적인 공급망 구성 - 프로젝트 20개 완료, 17개 진행 중
친환경화	• LNG 선박, 배터리 AGV, 태양열에너지, 그린빌딩 기반 지속가능한 항만 • 친환경 공동체 지향 항만	• 항만물류 활동의 친환경화	• 재생에너지 기반 크루즈선 AMP • 항만 E-모빌리티 • 항만 재생에너지 도입	• 최적의 지속가능한 석유화학 클러스터 구축 - 프로젝트 11개 완료, 12개 진행 중
에너지 및 인프라 관리		• 브랜드 가치를 만드는 공간 형성	-	• 미래 항만 인프라 구축 - 프로젝트 11개 완료, 7개 진행 중
		• 새로운 자원 에너지 수급 및 공급 거점 형성	-	

자료: 1) Tham Wai Wah(2018. 6. 13.), "Port Development of Singapore", pp. 9-13 참고 저자 작성
2) https://www.lotis.or.kr/tid03v.do?cn_id=2019072400005&cn_type_cd=TID&MENU_ID=TID00 참고 저자 작성
3) https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport(검색일: 2020. 5. 13) 참고 저자 작성
4) https://smart-port.nl/en(검색일: 2020. 5. 13) 참고 저자 작성

제 3 장

항만도시의 연계 현황 및 특징

본장에서는 앞장 해외 적용 사례 분석결과와 항만과 도시의 성장 모델을 기반으로 스마트화의 주요 목표인 물류효율성, 친환경화, 에너지 관리 등 세가지 측면에서 항만도시의 연계 현황 및 문제점 등을 분석하고자 한다.

제1절 항만도시의 교통흐름 현황 및 문제점

1. 항만도시 교통혼잡·도로 유지보수 현황 및 문제

1) 항만도시 교통혼잡비용 증가

항만지역을 출입하는 화물트럭은 도심 교통 및 도로에 다양한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 우선 화물트럭으로 인한 도심 교통량 증가 및 교통 혼잡은 잘 알려진 사실이며, 특히 화물트럭 1대가

승용차 1대의 3.7~3.8배 수준의 교통 혼잡을 초래하는 것으로 보고되고 있다.[28] 이러한 화물트럭은 교통 혼잡뿐만 아니라 도시의 도로에 소성변형, 균열, 포트홀 발생 등 도로 파손을 유발하며, 축하중 15톤 화물트럭의 1회 통과는 승용차 39만 대의 통과와 유사한 영향을 미친다.[29] 그리고 화물트럭의 무거운 자체 중량, 과적으로 인한 무게중심 상승 및 제동거리 증가 등의 운행 방식은 교통안전을 심각하게 위협하며, 국토교통부 과적단속 매뉴얼에 따르면 5톤 이상 화물트럭에 의한 교통사고 사망자 발생비율은 승용차 대비 4배 이상 높은 것으로 보고되고 있다.[30] 마지막으로 화물트럭 운행에 따른 대기오염, 화물 운송으로 인해 발생하는 비산먼지 등은 도심 거주자들의 주거환경과 거주안전에 심각한 위협으로 작용한다. 본 연구에서는 항만도시의 교통 흐름 등 효율성을 중심으로 항만을 이용하는 화물트럭이 도심의 교통에 미치는 영향, 즉 항만의 화물트럭으로 인한 교통혼잡을 중심으로 검토한다.

항만은 화물의 수요처와 화물운송 대부분을 화물트럭에 의존하고 있으며, 이는 도심지역의 교통량을 더욱 가중해 혼잡비용을 증가시키는 결과를 초래한다. Berechman(2009)에 따르면 뉴욕-뉴저지항 화물량 6% 증가로 인해 연간 도로 혼잡비용이 0.3억~0.8억 달러 느는 것으로 추산되었으며, De Borger and De Bruynne(2011)는 항만도시인 로테르담과 앤트워프 지역에서 항만 물동량 증가로 인해 교통 혼잡을 겪는 것을 밝혔다.

2015년 기준 국내 교통혼잡비용[31]은 국내총생산(GDP)의 2.16%인 약

28) 이창로·이슬이·박기호(2019).
29) 한국도로공사(2012).
30) 한국지방세연구원(2018).
31) 교통혼잡비용이란 교통혼잡으로 발생하는 사회적 손실 규모를 화폐가치로 환산한 지표로, 한국교통연구원에서 1994년부터 공표하고 있는 도로교통 분야의 대표적인 국가교통지표임. 각종 교통 현안

33.4조 원 수준으로 산정되었다. 이는 미국의 136.6조 원 대비 낮은 수준이나 미국의 GDP 대비 혼잡비용 수준인 0.83%보다 높은 것으로 나타나 국내 교통 인프라 및 관련 시스템의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 3-1〉 국내 교통혼잡비용 추이

단위: 조 원, %

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015
교통혼잡비용	28.5	29.1	30.3	31.4	32.4	33.4
GDP	1,265	1,333	1,377	1,428	1,483	1,542
GDP 대비 비중	2.25	2.18	2.20	2.20	2.18	2.16

자료: 한국교통연구원 보도자료(2014. 4. 22), 「2015년 교통혼잡비용 33조 4천억 원(GDP의 2.16%)으로 예측 – 2010년 대비 17.0% 증가」

2015년 기준 국내 주요 항만도시의 차량 1대당 혼잡비용은 컨테이너 물동량이 많은 부산이 323억 원, 인천이 222억 원으로 타 대도시[32]에 비해 높게 나타났다.

〈표 3-2〉 국내 주요 항만도시 차량등록수 및 도시부 교통혼잡비용 추이

구분		2010	2011	2012	2013	2014	2015
부산	차량등록 수(천대)	1,147	1,159	1,175	1,184	1,214	1,256
	혼잡비용(억원)	36,226	35,720	39,041	39,146	39,882	40,618
	1대당 혼잡비용(만원)	**316**	**308**	**332**	**331**	**328**	**323**
인천	차량등록 수(천대)	926	984	1,049	1,142	1,247	1,355
	혼잡비용(억원)	24,624	25,279	25,375	27,846	28,951	30,057
	1대당 혼잡비용(만원)	**266**	**257**	**242**	**244**	**232**	**222**
울산	차량등록 수(천대)	441	456	470	485	505	525
	혼잡비용(억원)	5,390	5,626	6,178	6,170	6,442	6,714
	1대당 혼잡비용(만원)	122	123	131	127	128	128

자료: 한국교통연구원 보도자료(2014); 국토교통부 통계누리(검색일: 2020. 6. 25) 자료를 바탕으로 저자 재작성

에 이용 빈도가 높고, 교통 분야 법정계획과 다양한 정책 수립을 위한 기반 지표로 활용(한국교통연구원(2020), 「교통혼잡비용 추정의 패러다임 변화와 2017년 교통혼잡비용 추정결과」).

32) 서울 309억 원, 대전 203억 원, 광주 174억 원, 대구 160억 원.

대부분의 차량은 교통 흐름을 악화시켜 교통지체비용을 증가시키는 주요 원인으로 작용하지만, 화물트럭의 경우 일반 차량보다 차체 규모가 크기 때문에 화물차량 1대가 유발하는 교통 혼잡도는 일반 차량보다 훨씬 크다. 해양수산부에서 항만배후도로의 교통량을 개선하기 위해 사용하는 환산계수를 살펴보면, 항만을 이용하는 중형 이상의 화물차량 1대는 일반 승용차 1대의 3.7~3.8배 수준의 교통 혼잡을 발생시키는 것을 알 수 있다.

〈표 3-3〉 화물차 차종구분과 승용차 환산계수

구분	내용	환산계수
소형 화물차	최대적재량 2.5톤 미만	1.3
중형 화물차	최대적재량 2.5톤 이상~8.5톤 이하	3.7
대형 화물차	최대적재량 8.5톤 초과(덤프트럭 포함)	3.8
컨테이너/트레일러	컨테이너 및 트레일러	

자료: 해양수산부(2017),「항만도로 건설지원지침」

국내 주요 도시의 교통혼잡비용과 대형화물차의 관계를 확인하기 위해 도시별 화물차 등록 수를 분석한 결과 화물차의 등록 수는 서울이 33.1만 대로 가장 많은 것으로 나타났으며, 그다음으로 인천 19.3만 대, 부산 18.7만 대, 대구 16.0만 대 등의 순으로 나타났다(표 3-4 참조). 그러나 대형화물차의 경우 항만도시인 부산, 인천 등에서 등록 수가 많은 것으로 나타났으며, 전체 화물차 중 대형 화물차의 비중 역시 부산(15.7%), 울산(15.0%), 인천(12.5%) 등 항만도시가 상대적으로 높게 나타났다.

〈표 3-4〉 국내 주요 도시 대형화물차 등록 비중(2020. 4 기준)

단위: 대, %

구분	전국	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
화물차 전체	3,598,405	330,856	187,359	160,435	192,576	92,549	86,717	71,451
대형화물차	350,661	21,185	29,337	12,937	23,978	10,439	8,716	10,747
(비중)	(9.7%)	(6.4%)	(15.7%)	(8.1%)	(12.5%)	(11.3%)	(10.1%)	(15.0%)

자료: 국토교통부 통계누리(http://stat.molit.go.kr/portal/cate/partStts.do?stts=0160000, 검색일: 2020. 6. 25) 자료를 바탕으로 저자 재작성

또한, 항만시설을 이용하는 화물트럭의 비중이 높을수록 교통 혼잡도가 매우 심각하다. 항만차량 비율이 50%를 초과하는 인천항의 경우 도심에서 화물트럭과 일반차량 간 교통혼잡이 심각한 수준이며, 동시에 수시로 오가는 대형 화물트럭으로 인해 도로 파손도 심각한 것으로 보도되고 있다.[33] 인천신항 개항으로 하루 3,000대 이상의 컨테이너 운송트럭이 도심지역을 통과할 경우 교통체증과 소음 피해로 민원이 발생할 것을 경고하고 있다.[34]

〈표 3-5〉 국내 항만배후도로의 항만차량 비율

구분		거리	항만차량 비율
부산	북항대교	3.3	15.9
	영도통과도로	2.4	9.8
	천마터널	3.5	11.1
인천	남항 배후도로	4.1	50.5
	북항 배후도로	2.05	54.4

자료: 해양수산부(2015), 「항만배후도로 지원기준 정비 연구」 기반으로 저자 재정리

이러한 항만도시의 교통 혼잡은 항만화물을 운송하는 대형화물차 자체가 주요 원인 중 하나이나 동시에 항만과 도시의 인터페이스, 항만운영 방식 등에서 기인한다. 컨테이너 화물은 부분적으로 항만과 배후지 간 이동을 용이하게 하기 위해 만들어졌으나, 도심지역은 이러한 대규모 화물의 이동에 영향을 받을 수밖에 없다. 따라서 부적합한 항만서비스, 화물취급 장비, 야적장의 가용성, 과도한 출입시간 및 하역시간 등 항만운영과 관련된 모든 요인이 도심지역 교통 흐름의 지연을 초래하고 있으며(Jaja, 2011), 많은 수의 트럭과 대형화물은 교통사고와 그에 따른 지연을 발생시킨다(Giuliano & O'Brien, 2008).

33) 인천일보, 「항만배후단지 '혼잡 도로관리' 온도차」(검색일: 2020. 6. 25)
34) 연합뉴스, 「철도 없는 인천 신항 수송차 1일 3천 대…소음·교통 체증 우려」(검색일: 2020. 6. 25)

항만에서의 화물처리량 증가로 인한 도시 교통망의 혼잡은 결국 항만에도 부정적인 영향을 미치게 된다. 항만과 배후 교통망은 분리되어 기능할 수 없기 때문에 결국 한 부문에서 발생하는 비효율적인 현상은 타 부문에 부정적인 영향을 미치게 되며, 이는 항만과 배후 교통망이 매우 밀접하게 연관되어 있음을 보여준다(Notteboom and Rodrigue, 2008). 미국에서는 배후 교통망의 정체로 인해 선사들이 타 항만 또는 경쟁항만으로 이동하기도 하여 결국 이러한 배후 교통망의 혼잡은 항만 간 경쟁을 심화시키기도 한다(Wan, Zhang, and Yuen, 2011).

2) 항만도시 교통혼잡 완화 방안[35)]

선박대형화로 인한 화물 증가 및 집중 현상은 컨테이너 터미널의 육상부문 운영에서 컨테이너 운송 트럭으로 인해 교통 혼잡, 운영비용 증가, 환경문제 등이 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 즉, 항만의 물류 및 비용 관점에서 트럭의 대기시간을 감소시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 일부는 실제 적용되고 있다. 대부분의 연구는 컨테이너 터미널 운영 측면에 중점을 두고 트럭 도착시간을 인위적으로 분산시킴으로써 피크시간을 완화하는 방안을 제시하고 있다. 즉, 게이트의 차로 수 제어(Gracia, González-Ramírez, and Mar-Ortiz, 2016), 야간 또는 혼잡시간을 피해 도착하는 트럭에 인센티브 제공(Bentolila *et al.*, 2016), 게이트에 웹캠을 설치하여 트럭 운전자에게 게이트 정보 제공(Huynh *et al.*, 2011), 트럭 도착 관리시스템 도입 및 최적화(Guan &

35) Lange, Schwientek, & Jahn(2017), pp.40-41.

Liu, 2009; Hyunh & Walton, 2011) 방안이다.

다음으로는 항만구역에서 활동하는 운송수단의 혼잡을 줄이는 전략이다. 이를 위해 트럭 운전사에 대한 연구와 차별화된 스케줄링 및 라우팅 알고리즘이 연구되었으며(Jula *et al.*, 2005; Namboothiri & Erera, 2008), 새로운 교통제어 시스템을 구현하거나(Rajamanickam & Ramadurai, 2015), 공급망 관리 도구를 도입하기 위한 연구가 수행되었다(Ascencio *et al.*, 2014).

항만업계에서는 「캘리포니아 의회 법안 2650(California Assemblky Bill 2650)」에 따라 2002년 LA/LB항에 최초로 트럭 예약 시스템(TAS: Truck Appointment System)이 도입되었으며, 현시점에도 연구되고 있다. 기본적인 아이디어는 예약 시스템을 통해 터미널에 도착하는 트럭의 수를 분산·제어하는 것이나, 자발적인 참여로 항만의 모든 터미널이 상이한 시스템을 사용하고 있어 논란이 되었으며, 결과적으로 트럭 운전자의 참여도는 낮은 것으로 나타났다(Giuliano & O'Brien, 2007). 현재 밴쿠버, 시드니, 사우스햄턴과 같은 여러 항만에서 성공적인 트럭 예약 시스템이 운영되고 있으나, 현재 시스템을 개선하거나 보다 나은 대안을 찾기 위한 연구가 진행되고 있다(Davies & Kieran, 2015; Huynh, Smith, & Harder, 2016).

〈표 3-6〉 항만 기인 교통체증 완화방안 선행연구

구분		연구내용
트럭 도착 시간 분산	Gracia, González-Ramírez, Mar-Ortiz(2016)	• 게이트 차로 제어
	Bentolila *et al.*(2016)	• 인센티브 제공(야간 또는 비혼잡시간 도착 트럭)
	Huynh *et al.*(2011)	• 트럭 운전사에게 정보제공
	Guan & Liu(2009), Huynh & Walton(2011)	• 트럭 도착 관리 도입 및 최적화

구분		연구내용
항만 내 혼잡 완화	Jula *et al.*(2005)	• 트럭 운전사 연구 • 스케줄링, 라우팅 알고리즘 개발
	Namboothiri & Erera(2008)	
	Rajamanickam & Ramadurai(2015)	• 교통제어 시스템 연구
	Ascencio *et al.*(2014)	• 공급망 관리 도구 도입 연구
트럭 예약 시스템	Davies & Kieran(2015)	• 차량 예약 시스템 개선
	Huynh, Smith, & Harder(2016)	

자료: Lange, Schwientek, & Jahn(2017), p. 41을 기반으로 저자 재정리

국내에서도 항만도시의 교통 혼잡을 완화하기 위해 다양한 방안이 시도되고 있으며, 최근에는 IT 기술을 활용하여 터미널 및 주변의 교통 흐름 정보를 공유하는 플랫폼을 개발하여 터미널 주변 교통 혼잡을 해소하기 위한 방안을 강구하고 있다. 인천항만공사는 인천항 컨테이너 터미널의 가동상황과 주변의 교통 흐름 정보를 스마트폰으로 제공하는 '인천항 컨테이너 터미널 싱글윈도우' 서비스를 2016년 개시하였으며, 2019년에는 인천항 컨테이너 터미널 상세 반출입 혼잡시간을 제공하는 수준까지 발전시켰다.

부산항만공사(BPA)도 2017년 부산신항 일대 도로와 컨테이너 터미널의 혼잡도를 줄이기 위한 스마트폰 애플리케이션 개발을 기획하기도 하였으며,[36] 최근에는 선사, 운송사, 터미널운영사, 화주 등 항만 물류의 모든 주체들 간 정보연계 및 효율성 향상을 위해 블록체인 기술 기반의 통합물류 플랫폼, ChainPortal을 개발, 본격 운영에 들어갔다. BPA는 ChainPortal의 서비스 범위를 점진적으로 확대할 예정이라고 밝혔으며, 현재 제공되는 서비스는 터미널 정보조회 서비스, ITT 운송시스템으로 터미널의 혼잡도 완화에 중점을 두고 있다.

36) 연합뉴스, 「부산신항 혼잡도 알려주는 앱…트레일러 시간낭비 줄인다」(검색일: 2020.10.3)

3) 항만도시의 교통계획 분리 운영에 따른 문제

항만과 도시가 도로 등 교통계획 수립 시 항만계획과 도시계획을 분리하여 수립·운영함으로써 다양한 문제가 발생하고 있다. 예를 들면 도로 교통 흐름을 고려하지 않은 항만 게이트 진입로 설계, 항만 전용 화물트럭 우회도로 미건설로 인해 교통혼잡이 발생하고 있다.

그런데 문제가 가장 심각하게 나타나고 있는 부분이 임항도로 부분이다. 해양수산부는 항만 기인 교통량 해소를 위해 임항 교통시설을 확충하고 있다. 확충된 교통시설은 기본계획 단계에서 '도시계획시설'로 협의하여 지자체 계획에 반영 및 시설 이관 후 지자체에서 관리하도록 되어 있는데, 도로 유지보수 등은 지자체에서 시행하고 있고, 과적 등의 단속은 지자체에서 경찰로 업무가 이관되었다. 정부는 여전히 항만지역 교통량 집중 및 체증 해소를 위해 국비를 확충하여 도로를 확충하고 있으나, 지자체는 관리 소요예산 확보의 어려움을 토로하여 시설 이관에 비협조적이다. 지자체는 과거 시설계획 수립 시 '도시계획시설'로 협의하였다 하더라도, 항만 권역 내에 있는 구간에 대해서는 '항만시설'이므로 국가의 지속적인 관리를 요구하고 있다. 따라서, 지자체에 이관되지 못한 항만시설 관리를 위해 별도의 관리조직이 없는 국가(지방해양수산청)는 PA에 시설관리 위탁을 요구하고 있다. 부산항의 경우 임항교통시설 4개(약 14.42㎞)가 준공된 지 10년이 넘도록 지자체에 이관되지 못하고 부산항만공사(BPA)가 관리 하고 있다.[37]

현재 항만공사(PA)는 시설 보수는 가능하나 차량 단속권한이 없고, 경찰서는 지자체를 통한 업무 협의가 이루어지지 않아 단속 등 통제

37) 매일경제, 「부산신항 배후도로 관리책임...해수부·지자체 핑퐁게임」(게시일: 2019. 3. 12, 검색일: 2020. 10. 3)

불가하다는 입장이며, 해양수산부는 시설관리를 이관함에 따라 별도로 신경을 쓰지 못하고 있다. 컨테이너 등 중차량이 주로 이용하는 임항교통시설은 과적, 과속에 대한 통제가 안될 경우 많은 위험을 내포하고, 도로 파손 및 포트홀 발생, 교통사고 발생에 따른 막대한 사회적 비용을 초래하나, 단속권, 통제권 부재로 부산항 임항교통시설은 파손된 상태로 방치되어 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 항만과 도시가 교통 흐름, 도로 유지보수 등을 고려하여 통합 계획을 수립하고 적절하게 예산을 배분하는 것이 필요하다.

2. 스마트항만과 스마트시티의 물류 흐름 개선

1) 스마트시티의 물류 흐름 개선 노력

스마트시티는 스마트 교통, 스마트 경제, 스마트 생활, 스마트 거버넌스, 스마트 피플, 스마트 환경 등 6개 영역으로 구분되며,[38] 물류효율성과 직접적인 관련이 있는 영역은 스마트 교통 부문으로 볼 수 있다. 국내에서 추진 중인 스마트시티 사업 중 스마트 교통과 관련된 서비스는 크게 자율주행셔틀 서비스, 스마트 주차 서비스, 퍼스널 모빌리티 서비스, 스마트 가로등 서비스, 스마트 횡단보도 서비스 등이 있다.[39] 해외 스마트시티에서 추진하고 있는 교통서비스도 자율주행셔틀 서비스, 통합 모빌리티 서비스, 스마트 주차 서비스, 퍼스널 모빌리티 서비스 등 국내에서 추진 중인 것과 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며,[40] 대부분 교통수단의 전환과 이용자 편의성 증

38) 한국교통연구원(2018), 『스마트시티 교통체계 구축전략 및 실행방안 연구』, p. 53.
39) 상게서, pp. 10-15.
40) 상게서, pp. 22-27.

대를 위한 사업 및 연구가 추진되고 있다.

〈표 3-7〉 스마트시티 핵심 구성요소

구분	정의
스마트 교통 (Smart Mobility)	• 접근성 향상 • 안전한 교통 • 효율적, 지능적인 교통시스템 • 네트워킹을 활용하여 정체를 줄이는 효율적인 교통시스템 • 카쉐어링, 카풀링, 카바이크 등과 같은 '새로운 사회적 형태'
스마트 경제 (Smart Economy)	• 지역 세계에서의 경쟁력 • 기업가 정신과 혁신 모멘텀 • 높은 생산성 • 사회 기회에 대한 시민과 기업 등의 광대역적인 접근 • 지역의 독립성 • 전자 비즈니스 프로세스(e-banking, e-shopping 등)
스마트 생활 (Smart Living)	• 삶의 질 향상 • 사회적인 측면: 교육, 헬스케어, 공공 안전, 주택 • 고품질 헬스케어 서비스(e-health, 원격진료, 전자 건강기록 관리) • 홈 자동화, 스마트 룸 및 스마트 빌딩 서비스 • 모든 사회 서비스의 접근성 향상
스마트 거버넌스 (Smart Governance)	• 참여 의사결정 • 공공·사회적 서비스 • 투명성, 민주적 절차와 결과 • 정부, 행정기관과의 상호 연계 • 지역사회에서의 정부 서비스 접근성 향상
스마트 피플 (Smart People)	• 사회적·인적 자본 • 창의적이며 교양을 갖춘 시민 • 스마트 서비스 기반의 ICT 활용 • 도시, 시골, 지역 모두 일관된 교육경험 제공 • e-education(원격학습)은 시민에게 양질의 정보제공 솔루션
스마트 환경 (Smart Environment)	• 환경오염 모니터링 • 지속가능한 기술의 활용 • 환경적·지속가능한 에너지 소비 • 에너지 보존과 자원 재활용을 촉진하면서 새로운 기술혁신을 통한 에너지 소비 축소

자료: 한국교통연구원(2018), p. 53

이 중 도시화와 인구 밀집, 이로 인한 교통 혼잡 심화 등 교통 문제의 해결방안으로 통합 모빌리티가 주목받고 있다. 통합 모빌리티는 차세대 교통시스템으로 목적지에 도달하는 다양한 경로 및 방식, 서비스를 제공하여 이용자에게 더 많은 선택권을 부여한다. 또한 스마트폰과 같은 모바일 기기를 통해 이용자의 데이터를 획득하고, 실시간으로 정보를 제공하여 이용자가 최적의 이동 선택을 할 수 있도록 지원한다.

〈표 3-8〉 통합 모빌리티 서비스 사례

구분	특징
핀란드 헬싱키	• 교통수단을 구매·소유하지 않고, 다양한 교통수단을 이용자가 원할 때 빌리거나 직접 이용하는 개인 맞춤형 통합교통수단 선택 서비스 • MaaS-Finland는 이용자의 이동유형 및 상황에 맞추어 이용 가능한 모든 교통수단 모바일 앱을 통해 사용자의 요구에 따라 모든 교통수단을 통합하여 경로설정 및 비용을 지불해주는 플랫폼 • 다양한 교통운영 기관을 통합하여 교통서비스별로 이용량을 설정 후 선 요금 지불
독일 하노브	• Mobility Shop은 실시간 이동시간을 고려하여 다양한 교통수단 조합으로 이용자의 효율성을 높임 • 한 번의 회원가입으로 신속하고 편리하게 티켓 발권, 현금을 소지하지 않고도 이용, 다양한 교통수단 이용, 투명하고 정확한 요금계산 등의 장점이 있음 - 이용자에게 완벽한 이동성 제공, 인터모달(inter-modal) 적용 촉진 - 지속가능한 교통시스템, 자가용 승용차보다 매력적인 대안 제시
영국 런던	• 런던의 대중교통은 물론 민간이 운영하는 철도, 자전거, 자동차 공유, 택시를 포함하여 이용자 요구에 맞추어 통합 모바일 패키지 서비스 제공 • 수요·공급 측면에서 모두 타당성이 있는 것으로 나타나 향후 상용화되었을 경우 시장규모는 더욱 커질 것으로 예상됨 • 패키지 선택, 여행계획, 예약, 탑승, 비용지불의 총 5단계를 거쳐 서비스를 제공
싱가포르 비라인	• 싱가포르 크라우드소싱 버스 서비스로 사용자들은 민간버스 운영업체가 명단에 올린 버스의 좌석을 예약하고 버스의 위치 추적 가능 • 새로운 경로가 커뮤니티의 수요에 따라 활성화될 수 있기 때문에 사용자들이 새로운 경로를 제안할 수도 있음 • 싱가포르 통근자 대상

자료: 한국교통연구원(2018), pp. 24-25

2) 스마트항만의 물류 흐름 개선 노력

스마트항만에서 추구하는 물류효율성은 항만 내부와 인근 지역의 물류망 개선 및 효율적인 운영을 통해 궁극적으로 항만의 생산성 및 효율성 제고가 궁극적인 목적이다. 따라서 기존의 스마트항만 물류는 기본적으로 터미널 내 혼잡도 개선과 이를 기반으로 한 생산성 제고, 터미널 진출입 게이트의 교통 혼잡 해소, 이와 연계한 화물트럭의 대기시간 감소 등을 목적으로 터미널 내부 및 게이트 정보의 실시간 공유를 실시하고 있다.

(1) 함부르크항 - Smart Port Logistics

함부르크 항만공사(HPA)는 SAP, Deutsche Telekom과 함께 함부르크 항만에 'Smart Port Logistics' 시범 프로젝트를 수행, 시스템 간의 연계를 추진하고 있다. 함부르크항은 좁은 도로 및 항만부지 등으로 고질적으로 발생하는 교통 혼잡 및 차량의 항만 체류시간 증가 등의 문제를 해결하기 위해 주요 IT 기업들과 시범 프로젝트를 수행하였다. 함부르크 항만은 기존에도 첨단 정보시스템을 도입하고 있었으나, 항만운영사와 관련 물류기업의 시스템 간 정보 통합 및 공유가 이루어지지 않았다. 그러나 이 프로젝트를 통해 정보를 통합하고, 통합된 정보를 클라우드 기반으로 사람 및 차량의 모바일 디바이스로 전달하는 체계를 마련하였다. 함부르크항은 Smart Port Logistics 프로젝트를 기반으로 내륙 및 해상물류의 실시간 제어를 통해 항만운영비 75% 절감, 항만의 교통정체 15% 축소를 달성하였다.[41]

41) 이언경 외(2017. 12), 앞의 책, p. 3.

〈그림 3-1〉 함부르크 Smart Port Logistics



자료: Bestfact(검색일: 2020. 5. 27)

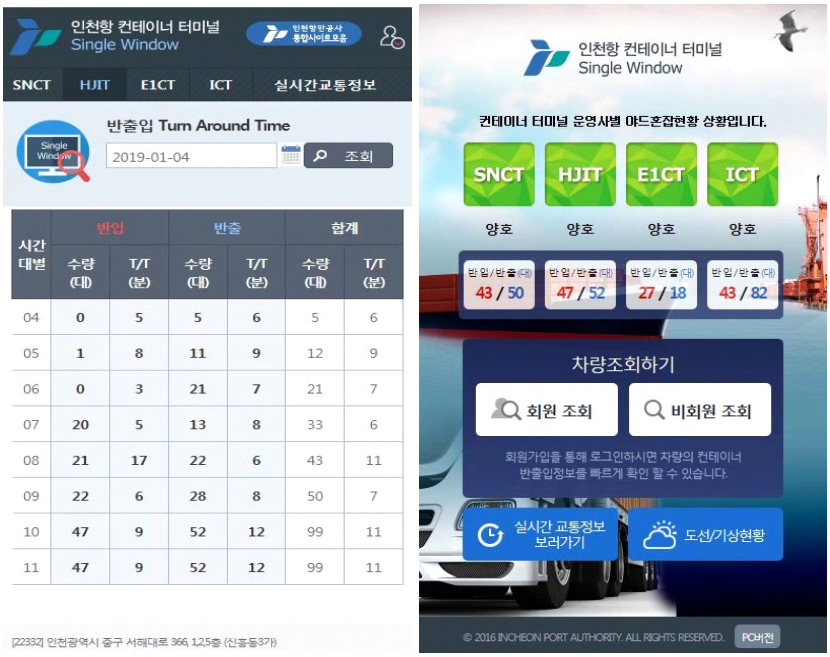
(2) 인천항 - 싱글윈도우

2016년 인천항만공사(IPA)는 컨테이너 터미널 게이트 반출입 시 교통 혼잡으로 인해 지속적으로 발생한 트럭운전 기사 및 인근도로 이용자의 불편을 해소하기 위해 컨테이너 터미널의 상세 반출입 혼잡 시간정보를 제공하는 '컨'터미널 싱글윈도우 모바일 애플리케이션을 개발하였다.[42]

싱글윈도우는 선석배정, 야드장치, 본선작업 현황 등 터미널 상황 정보와 화물의 반출입 예상시간 등 컨테이너 정보, CCTV 화면을 통해 터미널 인근의 교통 흐름을 알려주는 혼잡도 정보가 제공된다. 2019년에는 터미널별로 분산되어 있거나 버려지고 있는 정보를 수집하고 빅데이터 분석을 기반으로 터미널 반출입 혼잡 통계를 분석하고, 싱글윈도우 모바일 애플리케이션을 통해 화물기사에게 일별·시간대별 상세 반출입 소요시간 정보를 제공함으로써 기존 배차정보 기반의 컨테이너 운송에서 운송기사가 직접 혼잡정보를 확인하고 운송 우선순위를 조정하여 컨테이너 반출입이 가능한 시스템으로 진화

42) 인천항만공사 보도자료(2016. 2. 16), 「인천항 컨테이너 터미널 싱글윈도위 서비스 개시」.

〈그림 3-2〉 인천항 '컨'터미널 싱글윈도우 모바일 서비스 화면



자료: 인천항만공사 보도자료(2019. 1. 9)

하였다. IPA는 이를 통해 터미널 게이트의 혼잡이 분산되고 터미널 반출입 대기시간이 감소하여 부두운영 효율성과 항만 생산성과 더불어 도심지역 교통 혼잡 해소로 대기오염 또한 감소될 것으로 기대하고 있다.

(3) 부산항 - ChainPortal

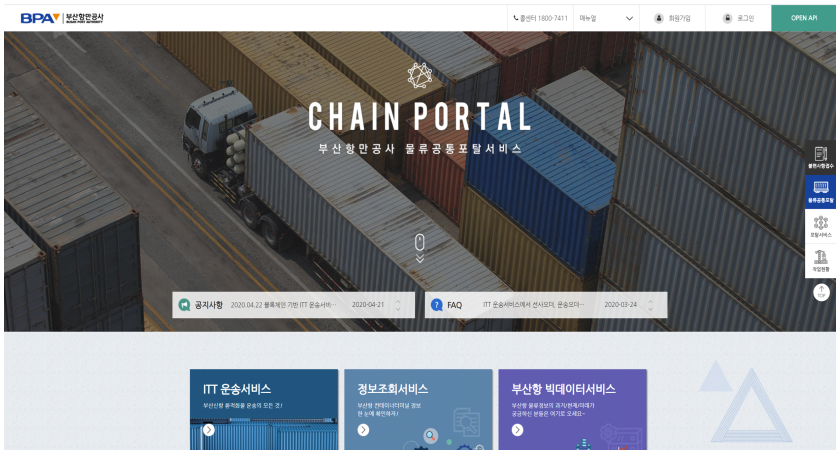
부산항만공사(BPA)는 2020년 부산항의 운영효율을 향상하기 위해 다양한 물류정보를 블록체인 기술로 안전하게 연계·공유하는 통합물류 플랫폼을 도입하고(ChainPortal) 본격 운영을 개시하였다. ChainPortal은 그동안 BPA가 제공해왔던 터미널 정보조회 서비스,

ITT 운송시스템 등 다양한 물류정보 서비스를 통합하여 항만이용자의 접근성을 개선하고 블록체인 기술을 적용하여 안전성을 높였다.

특히 BPA는 부산항 신항의 타 부두 환적의 효율성을 높이기 위해 선사, 운송사, 운영사, 운송기사 등에게 실시간 정보를 공유하는 ITT 운송시스템을 우선 적용하여 터미널의 혼잡도 개선과 이에 기반한 생산성 향상, 컨테이너 반출입 차량 대기시간 감소, 복화운송 증대, 배차효율 상승 등의 효과를 기대하고 있다.

BPA는 부산항 물류 흐름 개선을 위해 현재 '차량반출입예약시스템 구축사업'을 추진하고 있으며, 이외 다양한 서비스를 ChainPortal에 추가할 예정이다.

〈그림 3-3〉 부산항만공사 물류공동포탈서비스(ChainPortal) 메인화면



자료: ChainPortal(검색일: 2020. 6. 25)

(4) 광양항 – '컨'터미널 혼잡정보 실시간 제공

여수광양항만공사(YGPA)는 2014년 컨테이너 터미널 야드의 상하차 혼잡정보를 실시간으로 트럭 운송기사에게 제공하기 위해 광양항

컨테이너부두 중앙사거리에 대형 LED 전광판을 설치하였다. 기존에는 터미널 운영사별 홈페이지에 개략적인 정보를 제공했으나 정보의 부정확성 등으로 인해 트럭 운전기사들이 많은 불편을 겪었다. YPPA는 컨테이너 터미널 야드에서 상하차 처리시간 정보 제공으로 컨테이너 운송트럭 기사와 화주 입장에서 물류비 절감에 큰 영향을 줄 것으로 기대하였다.

〈그림 3-4〉 광양항 '컨'터미널 혼잡정보 제공 LED 전광판



자료: 데일리로그, 「광양항 '컨'터미널 혼잡 정보 실시간 서비스 제공」(검색일: 2020. 6. 25)

(5) 소결

최근 4차 산업혁명 기술을 적극적인 도입을 통해 항만과 도시 모두 스마트화를 추진하고 있다. 도시에서는 스마트 교통을 중심으로 교통시스템의 지능화, 정보화, 스마트화를 진행하고 있는데, 대부분 도시 거주민의 이용 편의성을 제고하고 안전성을 강화하는 것이 그 목적이다. 반면 항만은 물류 관점에서 항만 내 물류의 최적화와 배후 교통망, 철도망 등 연계 물류의 최적화 및 효율성 제고를 위해 자동화,

스마트화를 추진하고 있다. 즉, 현재 스마트시티, 스마트항만 사업은 도시와 항만이 각각 추구하는 목적에 따라 분리되어 진행되고 있다.

그러나 부산, 인천 등 항만도시는 스마트시티와 스마트항만으로 분리하여 스마트화를 추진할 수 없으며, 도시의 교통체계와 항만의 물류시스템 등의 분석·조사, 그리고 상호간 영향 등에 대한 충분한 검토가 필요하며, 항만과 도시가 동반 성장할 수 있는 방향으로 스마트화가 추진되어야 한다.

제2절 항만도시 환경오염 관리현황 및 문제점

1. 항만 기인 항만도시 환경오염물질

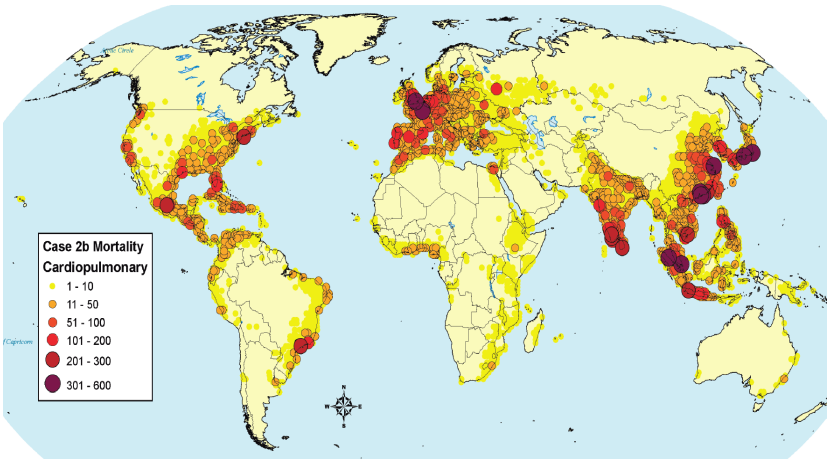
1) 선박 기인 항만도시의 대기오염 영향

항만도시 환경에 영향을 미치는 주요 요인으로는 항만을 출입하는 선박, 항만 하역작업을 위한 장비, 화물을 반출입하는 외부 트럭이 있으며, 대부분 화석연료를 사용하기 때문에 미세먼지(PM), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등 많은 대기오염 물질을 배출하고 있다.

최근 무역 증가로 인해 선박으로부터 기인한 대기오염물질 배출 또한 증가하고 있으며, 선박이 배출한 미세먼지로 인한 심장 및 폐암 발생 사망자가 6만 명에 이른다는 연구도 있다.[43]

43) Corbett *et al.*(2007), p. 8512.

〈그림 3-5〉 선박 배출 $PM_{2.5}$로 인한 심폐질환 사망자 분포



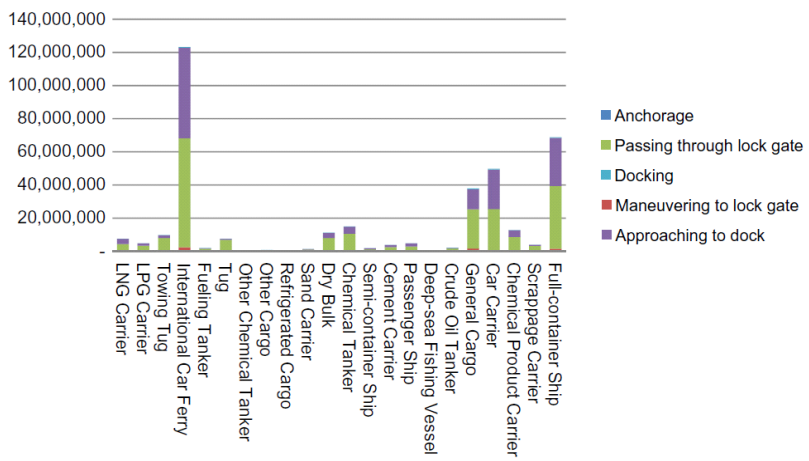
자료: Corbett *et al.*(2007), p. 8514

최근 여러 매체를 통해 시민들 또한 선박 기인 대기오염 문제의 심각성을 인지함에 따라 얼마나 많은 대기오염물질이 발생하고 있는지 분석하는 연구들이 많이 진행되고 있다.

Chang, Song, and Roh(2013)의 연구[44]에서는 우리나라 인천항의 선박으로부터 배출되는 온실가스량을 측정하기 위해 선박들의 연료 소모량을 계산한 후 온실가스 배출계수를 적용하는 상향식(Bottom-Up) 접근법을 사용했다. 동 연구결과로 2012년 1월부터 10월까지 10개월간 인천항에서만 370만 톤의 온실가스가 배출된 것으로 분석되어 선박을 통해 얼마나 많은 환경오염이 발생하는지 알 수 있었다. 또한 국제 카페리선이 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 분석되었으며, 컨테이너선박, 자동차 운송선박 등이 뒤를 잇고 있었다.

44) Chang, Song, and Roh(2013).

〈그림 3-6〉 선박 기인 인천항 온실가스 배출량



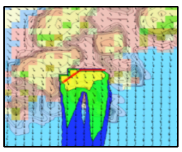
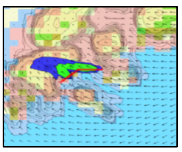
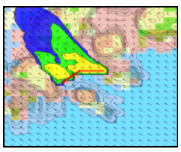
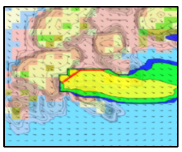
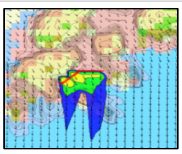
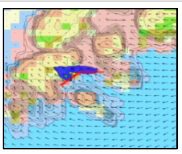
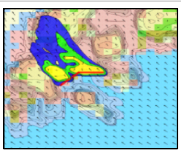
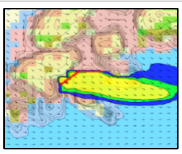
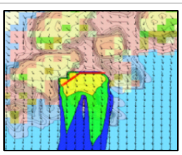
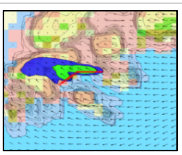
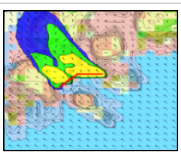
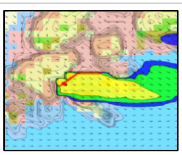
자료: Chang, Song, and Roh(2013), p. 3

이민우·이향숙(2018)의 연구[45]에서는 부산 북항의 선박 배기가스 배출량을 분석하고 대기확산 모형을 적용함으로써 항만으로부터의 대기오염이 항만도시에 어떻게 영향을 미치는지 연구했다. 동 연구에서는 2012년 질소산화물 1만 2,341톤, 이산화황 1만 4,513톤, 미세먼지 2,743톤이 부산 북항을 통항한 선박들에서 배출된 것으로 분석했고, 이를 대기확산모형인 CALPUFF에 적용하여 다음과 같이 계절별, 기상상태별, 시간대별로 대기확산을 분석했다(〈표 3-9〉 참조).

또한 국립환경과학원에서는 대기정책지원시스템인 CAPSS(Clean Air Policy Support System)를 통해 매년 '국가 대기오염물질 배출량'을 조사해 발표하고 있다. CAPSS는 대기오염물질 배출목록에 근거로 체계적으로 기초자료를 수집 및 관리함으로써 수도권 대기환경 개선대책, 대기오염총량관리제, 지자체 대기보전시책의 효율성 평가 등 정책 수행에 필요한 양질의 정보를 제공하는 대국민 정보서비스다.[46]

45) 이민우·이향숙(2018).

〈표 3-9〉 시간대별 대기확산 패턴

구분	6시	12시	18시	24시
NOx				
PM10				
SO_2				

자료: 이민우·이향숙(2018), p. 45

해상선박의 경우 대부분의 대기오염물질 배출량이 자동차에 이어 두 번째를 차지하고 있으며 황산화물의 경우 이동오염원 전체 4만 1,613톤 중 97.15%인 4만 429톤을 배출한 것으로 조사되어 대부분의 황산화물을 배출하고 있는 것으로 조사되었다(〈표 3-10〉 참조).

〈표 3-10〉 이동오염원별 대기오염물질 배출량(2016년)

단위: 톤

이동오염원	CO	NOx	SOx	PM10	PM2.5
자동차	244,556 (76.79%)	452,995 (71.92%)	231 (0.56%)	10,596 (56.76%)	9,748 (56.71%)
철도	2,426 (0.76%)	5,932 (0.94%)	151 (0.36%)	384 (2.06%)	354 (2.06%)
해상선박	62,632 (19.67%)	161,826 (25.69%)	40,429 (97.15%)	7,589 (40.65%)	6,995 (40.70%)
항공	8,865 (2.78%)	9,104 (1.45%)	802 (1.93%)	99 (0.53%)	91 (0.53%)
합계	**318,479**	**629,857**	**41,613**	**18,668**	**17,188**

자료: 국립환경과학원(2019. 7), 『2016 국가 대기오염물질 배출량』, pp. 31-48 기반 저자 작성

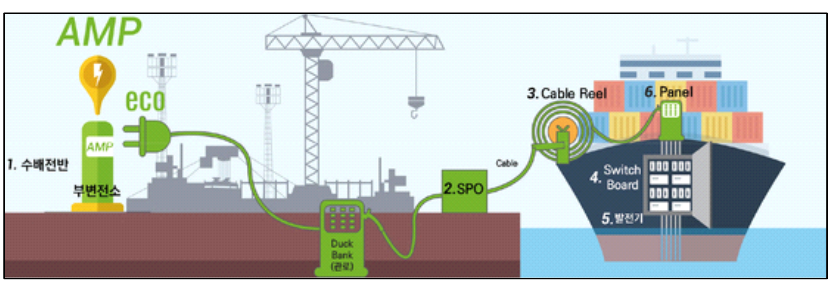
46) 국립환경과학원(2019. 7), p. 5.

이러한 연구들은 정확한 실측 자료를 기반으로 분석한 연구는 아니지만 다양한 추정모형을 통해 어느 정도 대기오염물질이 발생하는지 확인할 수 있는 연구로, 환경오염의 심각성을 알리는 목적으로 많이 활용되고 있다.

선박 기인 대기오염 문제를 해결하기 위해 선사들은 저유황유, LNG, 에탄올, 수소연료 등 선박 대체연료 투입, 스크러버 등 배기가스 후처리 방법 등을 사용하고 있고, 항만당국은 육상전원공급장치(AMP: Alternative Maritime Power), 선박 배출가스 제어시스템(AMECS: Advanced Maritime Emission Control System) 등을 활용하고 있다.

선박의 항만 접안 시 유류사용을 멈추고 전기로 전력을 공급받기 위해서는 선박 및 육상 모두 AMP 시설이 설치되어 있어야 한다. LA/LB항에서는 기존 운항하는 선박 중 AMP 설치가 어렵거나 AMP 시설이 고장 났을 때를 대비하여 선박이 배출하는 배기가스를 직접 흡입하는 AMECS가 활용된다.

〈그림 3-7〉 AMP 개념도



자료: 이언경 외(2017. 6), p. 22

〈그림 3-8〉 LA항 AMECS 시스템



자료: 저자 국외출장 중 촬영사진(2017)

2) 항만장비 및 외부트럭의 항만도시 대기오염 영향

선박과 달리 항만장비, 외부트럭 등과 같은 선박 외의 오염원으로부터 발생되는 대기오염 물질 및 영향에 대한 연구는 거의 없다. 이에 한국해양과학기술원에서는 부산항에서 발생하는 미세먼지의 발생원인과 이동, 확산 방향을 파악하기 위한 '부산 항만지역 미세먼지 발생과 거동에 대한 모니터링 연구'를 추진하고 있다. 동 연구에서는 미세먼지의 주요 발생원으로 꼽히는 항만을 대상으로 미세먼지 원인을 규명하고 발생원별 배출량과 영향도 등을 산정하기 위한 모니터링 시스템을 구축, 권역별 관리방안을 제시할 예정이며, 특히 미세먼지 발생과 확산을 시공간적으로 조사하기 위해 드론을 활용한 3차원 관측 시스템을 구축하고 실시간으로 미세먼지 농도와 성분 등을 관찰할 예정이라고 한다.[47] 이를 통해 향후 미세먼지 대책에 반영할 수 있을 것으로 기대되며, 앞으로 한국해양과학기술원의 이동실험실 등 연구 인프라 활용은 물론 부산항만공사, 부산시 보건환경연구원, 한양대 등 유관기관과 협력하여 면밀한 조사를 추진할 예정이라고 한다.[48]

47) 한겨레신문(2020. 2. 19), 「부산항 발생 미세먼지 원인과 확산 파악한다」.

〈그림 3-9〉 한국해양과학기술원 이동실험실



자료: 한국해양과학기술원 블로그(검색일: 2020. 5. 14)

3) 항만 기인 수질오염 현황

앞서 조사한 바와 같이 항만을 통해 발생하는 환경문제로는 대기오염물질 배출이 대표적이라고 할 수 있다. 하지만 최근 항만을 통해 배출되는 쓰레기, 즉 방충재(Fender), 페타이어 등과 관련된 환경오염에 대한 문제 또한 큰 이슈가 되고 있다.

최근 한 뉴스 보도[49]에 따르면, 제주항 유지보수 공사 시 제거된 낡은 방충재가 물속에 방치됐다가 수거된 것으로 조사되었다. 300kg에 달하는 고무덩이들이 물속에 가라앉아 있었던 것으로 항만 보수공사를 하면서 제거된 낡은 방충재들이었다. 방충재는 선박이 항만 접안 시 안벽과의 충격을 흡수하기 위한 장치로 선박과 안벽을 보호하기 위해서는 필수적이다. 이러한 방충재는 일정 기간 사용하고 나면

48) 한국해양과학기술원 블로그, https://blog.naver.com/kordipr/221836800380 (검색일: 2020. 5. 14)
49) KBS(2019. 2. 7), 「300kg 고무방충재 바다에 방치...뒤늦게 수거」(검색일: 2020. 6. 16)

교체해야 하는 설비이기 때문에 항만 운영 시 꾸준히 발생하는 폐기물로 볼 수 있다.

최근 인천항만공사는 한 기업과 손잡고 친환경 항만 방충재 개발에 나섰으며, 2020년 6월 5일 '신소재·기술을 적용한 친환경 방충재 개발사업' 협약을 체결했다. 본 사업은 고무계열 소재를 사용해 열화와 염분에 취약했던 방충재를 탄소섬유와 융합하여 내구성·열화성·탄성을 보강하고 경량화함으로써 수명이 더 길고 재활용 가능한 방충재로 개발할 예정이라고 한다.[50]

이 외에도 선박으로부터 발생하는 폐유, 컨테이너 세척으로 인한 폐수, 불법 쓰레기 무단 투기[51] 등으로 인한 오염물질들이 항만에서 발생하고 있으며, 이를 단속·방지하기 위한 관련 사업들이 추진되고 있다.

2. 항만도시 대기질 및 수질 개선 문제점

1) 항만 및 도시 관점의 환경개선 노력

(1) 항만관점의 개선 노력

독일, 네덜란드, 싱가포르, 일본, 미국 등이 추진하는 스마트항만 정책에 항만도시의 쾌적성 등을 위해 AMP 도입, 환경오염 모니터링 등의 친환경 정책이 포함되어 있다. 예를 들면 2016년 개장한 미국 LBCT(Long Beach Container Terminal)는 모든 작업이 자동으로 이루어지는 완전무인자동화 컨테이너 터미널로, 관련 규제 강화로 인해

50) 인천항만공사 보도자료(2020. 6. 7)
51) 채널A(2019. 6. 4), 「항만에 '쓰레기 산' 무슨 일?…불법 투기 일당 검거」(검색일: 2020. 6. 22)

친환경 동력원인 전기를 사용하기 위해 높은 투자비에도 불구하고 자동화했을 정도이다. 하지만 우리나라는 자동화 항만 추진 시 친환경보다는 물류효율 등 생산성 향상에 더 중점을 두고 있다.

우리나라에서는 친환경 항만과 관련해 AMP 설치, 전기방식 야드 크레인(e-RTGC: e-Rubber Tier Gantry Crane), LNG 야드트럭(YT: Yard Tractor) 전환 등 스마트항만 구축사업을 추진했다. 「항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법」 제18조(육상전원공급설비)에서 항만 내 설치 및 선박 이용에 대해 명시했고, 2030년까지 전국 13개 주요 항만의 AMP 설치계획을 발표했다. e-RTGC는 대표적인 친환경 항만 추진사업이며, 부산항만공사에서 부산항의 그린포트 실현을 위해 기존 디젤 엔진 방식의 야드 크레인을 전기방식인 e-RTGC로 전환한 사업이다. 기존 RTGC에 전력을 공급할 수 있도록 케이블 릴을 설치하는 것이 핵심기술로 이를 통해 RTGC가 배출하던 배기가스를 감축할 수 있었다. LNG YT는 기존 YT가 항만 내에서 배출하는 미세먼지를 줄이기 위해 친환경 에너지인 LNG를 동력원으로 사용하는 YT로, 2015년부터 부산항에 기존 약 400대의 YT를 LNG YT로 전환한 사업이다.

〈그림 3-10〉 부산항 도입 e-RTGC(좌) 및 LNG YT(우)



자료: (좌) 부산일보(2008. 10. 13), 「부산항 '그린터미널'로 거듭난다」;
(우) 연합뉴스(2020. 1. 15), 「부산항 경유 야드 트랙터 100대 LNG 전환 '미세먼지 저감 차원'」

현재 우리나라 항만의 대기질 상태는 에어코리아에서 발표하는 통합대기환경지수(CAI: Comprehensive Air-quality Index)와 미세먼지, 초미세먼지, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스 등 여섯 가지 대기오염물질 등의 수치로 확인 가능하다.[52] 현재 부산, 인천, 광양, 울산, 평택·당진항 중 인천항, 평택·당진항은 항만측정소 주소로는 여섯 가지 대기오염물질뿐만 아니라 CAI 값의 확인이 어렵다. 그리고 항만별 CAI 값이 일평균 값, 월평균, 연평균 값으로는 표현되지 않아 추적·모니터링이 어려운 상태다. 또한 항만대기질뿐만 아니라 항만도시의 대기질 상태가 나쁜 원인에 대한 해석이 되지 않는다.

우리나라 항만별 수질 상태는 해양환경정보포탈에서 발표하는 항만의 연도별 2월, 8월에 측정된 수질평가지수(WQI: Water Quality Index)로 파악이 가능하다.[53] 부산항의 경우 측정소가 북항 3개, 신항 1개로 대표값을 표현하기가 어렵고, 측정시점이 2월, 8월로 한정적이며, 수질오염 상태 변화의 원인 파악이 이려워 현 시스템으로는 항만별, 연도별 수질상태 변화를 추적·모니터링하기에는 한계가 있다.

(2) 스마티시티 관점의 환경개선 노력

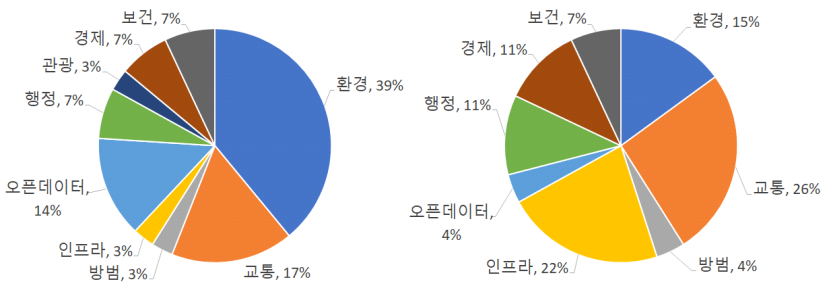
스마트시티 관점에서 살펴보면, 국토교통부에서는 2008년부터 U-City 사업을 추진하여 관련 R&D 및 시범도시 지원사업을 통해 사업에 필요한 행정·재정·기술 등을 지원함으로써 U-City 모델을 구축해오고 있다. 특히 U-Eco City 연구단과 같은 R&D 사업에 990억 원의 예산을 투입하여 제도 기반마련, 핵심기술 개발, 해외수출 지원

52) 에어코리아, https://www.airkorea.or.kr/web(검색일: 2020. 10. 23); CAI는 4등급으로 표현되는데, 좋음(0~50), 보통(51~100), 나쁨(101~250), 매우 나쁨(251~)으로 표시.

53) 해양환경정보포털, https://meis.go.kr/portal/main.do(검색일: 2020. 10. 8); WQI는 1등급(23 이하), 2등급(24~33), 3등급(34~46), 4등급(47~59), 5등급(60 이상).

등을 수행했다[54]고 하지만 그럼에도 불구하고 대부분의 U-City 및 스마트시티 사업은 환경보다는 방법, 방재, 교통에 치중되어 있는 것으로 조사되었다. 이에 반해 유럽은 초기부터 스마트시티를 기후변화에 대응하기 위한 수단으로 활용하고 있으며, EU 산하 EC(European Commission)의 주도로 전 유럽 차원의 스마트도시 촉진 정책을 추진하고 있다.[55] 〈그림 3-11〉에서 볼 수 있듯이 유럽의 스마트시티 중점 추진분야는 환경, 교통 순이며, 우리나라가 속해 있는 아시아 지역의 스마트시티 중점 추진 분야는 교통, 인프라, 환경 순으로 나타나 지역별로 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 우리나라의 경우에도 항만에서 배출하는 환경오염물질로 인해 항만도시가 많은 영향을 받고 있음에도 불구하고 부산 에코델타 스마트시티, 인천스마트시티와 같은 스마트시티 중점 추진분야가 환경이 아닌 주거, 교통, 방범, 물류 등이다.

〈그림 3-11〉 유럽(좌) 및 아시아(우) 스마트시티 중점 추진분야



자료: 이재용·사공호상(2015. 8. 31), p. 6

54) 이재용 외(2016. 12), 『Smart City 경쟁력 강화를 위한 정책방안 연구』, 국가건축정책위원회, p. 13.
55) 이재용·사공호상(2015. 8. 31), p. 5.

2) 소결

항만도시의 환경오염 관리 문제는 세 가지 문제가 있다. 첫째, 항만의 선박, 항만장비, 트럭 등이 항만도시민에게 미치는 영향의 심각성에 대해서는 인지하고 있으나, 데이터 기반으로 항만도시에 미치는 영향에 대한 분석은 미흡하다. 항만이 항만도시의 대기오염 정도에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 발생원 분석, 발생원별 대기확산 정도를 파악해야 한다. 그런데 현재 AIS 기반 선박의 배기가스 배출량 분석도 미흡할 뿐만 아니라 AIS 기반 분석값이 실측값과 어느 정도 차이가 있는지도 파악이 되어 있지 않다. 또한 배출원별 항만도시의 대기에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 대기확산모형을 활용한 지속적인 분석 및 모니터링이 필요한데, 이에 대한 정부 차원의 연구가 부족한 편이다.

두 번째 문제는 항만의 수질오염, 대기오염 감축 정책, 관측망, AMP 시설 설치 등이 항만도시에 어떤 변화를 일으키는지에 대한 연구가 부족한 편이다. 항만의 친환경 시설투자, 정책 시행에 대한 효용성을 높이기 위해서는 정책과 실적에 대한 모니터링이 필요하다. 이를 위해서는 환경정보 데이터를 기반으로 체계적인 정보수집, 분석, 결과 해석 등에 대한 연구방법론 설정 및 연구를 해야 한다.

세 번째 문제는 항만별 대기질, 수질 등의 상황을 모니터링하고 데이터를 수집·가공하고 월간, 연간 정보를 제공하는 하나의 통합 플랫폼이 없다는 것이다. 정책의 일관성을 위해서는 선박 AIS 데이터, 대기 및 수질오염 데이터, 환경 데이터 등을 수집, 분석·가공, 제공하는 플랫폼을 만들고 검증된 기관이 관리·운영하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

제3절 항만도시의 에너지 관리 현황 및 문제점

1. 항만과 도시의 에너지 사용 현황

1) 항만과 도시의 재생가능에너지원

항만은 화물이나 승객을 이동시키기 위해 선박이 활용하는 거점으로 터미널 내 하역장비나 조명장치, 냉장 및 냉동 컨테이너 등을 운영·관리하는 데 전기와 같은 에너지가 소요된다. 도시는 특정 지역의 정치, 경제 및 문화를 주도하고, 많은 사람이 거주하는 지역[56]으로 건물, 교통시스템, 수도·전기공급 시스템, 녹지 등에 전기 에너지가 사용된다. 도시의 교통수단과 인프라는 전통적으로 에너지 소비의 영역이었지만, 현재는 태양광 등을 활용해 에너지 생산도 가능하다. 사무실이나 가택 등 에너지 소비를 담당했던 건물 또한 태양광 지붕 등을 활용한 에너지 생산이 가능해졌다. 녹지는 시민들의 편의시설 및 생태계 유지 역할을 담당해왔으나, 앞으로는 바이오, 태양광 에너지 발전 등을 위한 장소로 활용이 가능하다.

본 연구에서의 에너지는 전력을 만들어 내는 자원을 의미한다. 최근에는 화석연료를 직접적으로 사용하지 않는 신·재생에너지가 각광을 받고 있다. 신에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소·산소 등의 화학반응을 통해 전기를 생산하는 에너지를 의미한다. 대표적으로 수소에너지, 연료전지, 석탄을 액화·기화한 에너지가 있다. 재생에너지란 햇빛과 태양열을 포함해 물과 지열, 생물유기체 등 재생이 가능한 에너지(또는 에너지원)를 변환시켜 활용하는 에너지를 말한다. 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지,

56) 표준대국어사전.

폐기물에너지 등이 있다.[57]

〈표 3-11〉은 OCED에서 발표한 재생가능에너지 분류기준을 이현숙·테스케(2013)가 정리한 것이다. 국제에너지기구(IEA: International Energy Agency)[58]를 포함해 유럽연합, 미국, 일본 등 각국의 재생가능에너지 분류기준이 존재한다. 모든 구분항목에서의 분류기준이 일치하지 않지만, 태양열, 태양광, 풍력, 천부는 재생가능에너지원으로 여겨진다. 천부지열이란 지표로부터 300m 내에 15°C를 유지하는 지열을 의미하며(심부는 40~150°C)[59], 온도가 높지 않아 사용영역이 제한된다. 즉, 세계에서 인정되는 활용 가치가 높은 재생가능에너지원은 태양열, 태양광, 풍력이라고 생각할 수 있다.

〈표 3-11〉 재생가능에너지 OECD 기준 분류표

구분		국제에너지기구	유럽연합	미국	일본	한국
태양열		O	O	O	O	O
태양광		O	O	O	O	O
풍력		O	O	O	O	O
수력		O	O	△	O	O
지열	화산	-	O	-	O	-
	심부	-	O	-	O	O
	천부	O	O	O	O	O
바이오패스		△	O	O	O	O
폐기물		-	△	△	△	O
매립지가스		O	O	△	O	O
해양에너지		-	O	△	△	O
수소		-	-	-	-	O
연료전지		-	-	-	-	O
석탄가스화		-	-	-	-	O
중질잔사유		-	-	-	-	O

자료: 이현숙 · 테스케(2013), p. 20

57) 신에너지 및 재생에너지 개발 · 이용 · 보급 촉진법(약칭 '신재생에너지법').
58) 에너지경제연구원(검색일: 2020. 6. 12); 국제에너지기구(IEA: International Energy Agency)는 대체에너지원 활성화 등의 업무를 수행하는 에너지 정책 포럼.
59) 에너지설비관리(검색일: 2020. 6. 12)

이와 같은 신재생에너지원은 2차 에너지인 전기를 생산하는 데 사용된다. 전기는 그리드(grid)라고 하는 전력망을 통해 생산지로부터 수요지로 전달된다. 그리드는 사전적으로 '격자'를 의미하지만, 에너지 분야에서는 에너지를 생산지에서 소비지로 이동하도록 하는 망(network)을 의미한다.

2) 항만과 도시의 에너지 사용 현황

현재 우리나라의 전력시스템은 최대 수요(피크 소비)에 대비한 예비율을 두며, 대개 예상 수요보다 약 15% 많은 양의 전기를 생산하도록 되어 있다.[60] 이러한 잉여전력생산은 추가설비를 필요로 하고, 친환경에너지로의 완전전환 이전까지는 온실가스를 추가로 배출하는 문제점이 있다.

도시를 위한 전력수급은 도시관리계획에 의해 결정되거나 변경된다. 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』 제30조(도시·군관리계획의 결정)와 동일법의 시행령 제25조에 따라 전기공급설비의 설치 및 변경 등을 결정하고, 동일법 제32조(도시·군관리계획에 관한 지형도면의 고시 등)와 『토지이용규제기본법』 제8조(지역·지구등의 자정 등) 및 동일법 시행령 제7조에 따라 설비가 설치되거나 변경된 지형도면을 고시한다.[61]

고시문에는 신설 등을 나타내는 구분을 포함해 위치, 면적, 결정일, 설비명, 변경내용 및 변경사유를 적어야 한다. 지형도면은 본문에 첨부하거나 토지이용규제정보서비스에서 열람할 수 있도록 한다.

60) Kepco(검색일: 2020. 6. 21)
61) 단, 지자체에 따라 세부 적용되는 조례가 존재할 수 있음.

항만에서의 전력수급계획은 터미널에 투입되는 전기시설에 의해 결정된다. 전기시설은 크게 건축물, 하역장비, 야드 조명설비, 냉장과 냉동 컨테이너 설비로 구성된다. 터미널 간 차이가 있으나, 일반적으로 하역장비와 냉장 및 냉동 컨테이너 설비가 전력의 약 90%를 소요한다. 예상 소요 전력(또는 설비용량)은 장비 제원에 따라 결정되는 피상전력(kVA[62])에 각 장비나 설비 수량을 곱해 1차적으로 계산된다. 안벽크레인의 경우 약 2,000~4,000kVA, RMGC(Rail-mounted gantry crane)는 750~850kVA, 조명탑은 1kVA, 냉장 및 냉동 컨테이너 설비는 10kVA 수준이다.

1차적으로 계산된 예상 소요 전력에 수용률을 적용함으로써 실질적인 전력수요를 파악한다. 수용률은 최대사용전력과 설비용량의 비율을 나타낸 것으로 항만공사의 경험치나 타 부두 현황치를 참고해 산정한다. 이 결과값에 따라 항만에 필요한 변압기 용량이 결정된다. 통상 설비용량의 150%를 의미하는 순간 피크(peak)를 15분 견딜 수 있는 수준으로 설계한다. 용량을 넉넉하게 산정하는 것도 중요하지만, 용량에 따른 기본요금이 존재하기 때문에 보다 정확하게 용량을 결정하는 것이 중요하다. 산정된 용량을 기준으로 한국전력공사에 사전신청을 해야 전기를 공급받을 수 있다.[63]

3) 에너지 분야의 정책적 방향

최근 몇 년 사이 4차 산업혁명 시대에 접어들며 스마트항만과 스마트도시 각각에 대한 관심이 급증했다. 동시에 '친환경 에너지'에 대한 관심이 세계적으로 증대되며 기존 화석연료에 의존했던 도시

62) Volt-ampere.
63) 전기사업법 시행령(개정일: 2020. 3. 3)

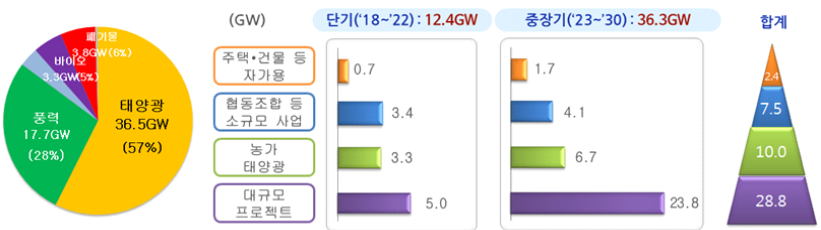
및 항만의 에너지 공급 인프라와 시스템을 변화하려는 움직임이 나타나기 시작했다.

친환경 에너지는 태양광, 풍력, 바이오 등 재생에너지로 대표될 수 있다. 이들은 기존 화석연료에 비해 에너지 효율이 떨어지므로 급격한 친환경 에너지로의 전환은 바람직하지 않다고 여겨진다. 특히, 면밀히 검토되지 않은 에너지 전환 계획은 에너지 생산·공급 부족을 야기해 도시와 항만을 포함한 산업 전반에 악영향을 끼칠 수 있다.

도시와 항만의 에너지 사용만을 대상으로 한 국정계획은 존재하지 않으나 2017년 12월에 수립된 『재생에너지 3020 이행계획』이나 2019년 1월에 수립된 『수소경제로드맵』을 통해 항만, 도시를 포함한 사회 전반의 에너지 확보, 공급, 인프라 등을 파악할 수 있다.

『재생에너지 3020 이행계획』은 2030년 재생에너지를 통한 발전량 비중을 20%까지 끌어올리는 것을 골자로 한다. 중간연도별 세부적 재생에너지 발전량 비중은 16년 7%, 22년 10.5%, 30년 20%이다. 특히, 재생에너지 발전 설비의 95% 이상을 태양광과 풍력 발전설비로 확충할 계획이다.

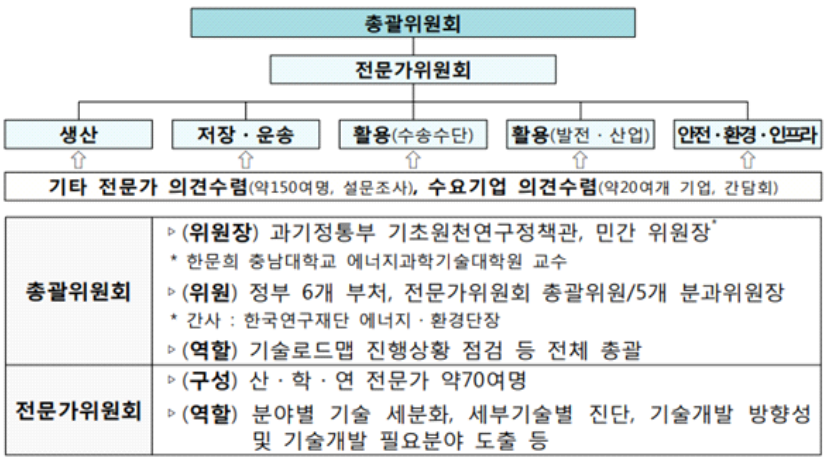
〈그림 3-12〉 2030년 목표 에너지 비중 및 달성 방안



자료: 산업통산자원부(2017)의 자료를 바탕으로 저자 수정

『수소기술개발 로드맵』은 2019년 1월에 발표된 『수소경제 활성화 로드맵』을 실천하기 위한 기술개발 이행계획으로서 제안됐다. 『수소기술개발 로드맵』에서는 수소기술개발 영역을 생산, 저장 및 운송, 활용1(교통수단), 활용2(발전 및 산업) 그리고 안전·환경·인프라로 분류했다. 영역별 어려움을 확인하고 이에 대응하는 전략을 수립해, 적절한 기술과 로드맵을 도출하는 것을 골자로 한다.

〈표 3-12〉『수소 기술개발 로드맵』 추진체계



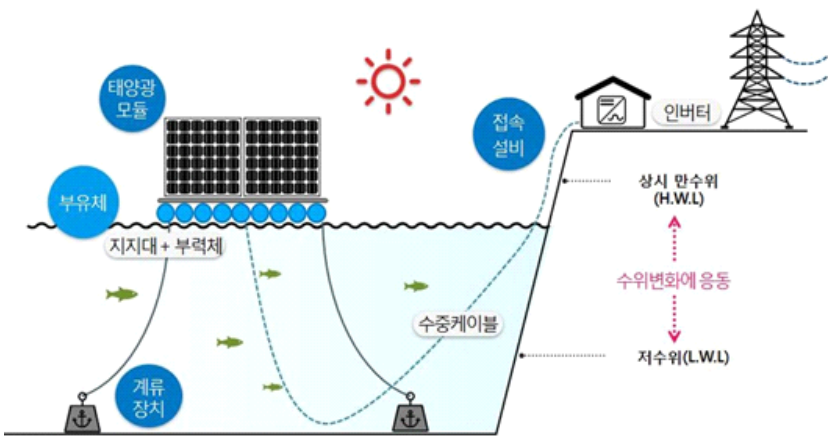
자료: 과학기술관계장관회의(2019)

에너지 분야 국정계획과 정책을 살펴보면 항만-도시 연계와 에너지 관리를 동시에 고려한 사업은 아직 진행되지 않았음을 짐작할 수 있다. 실제로 국내 대표적인 항만·해상 에너지 사업 및 용역은 항만을 대상으로 하거나, 항만에 연계가 가능할 뿐 항만-도시-에너지를 동시에 고려하지 않았다. 다음절은 『재생에너지 3020 이행계획』의 핵심 에너지원인 태양광과 풍력발전이 어떤 항만·해상 에너지 사업과 용역으로 나타났는지 소개한다.

4) 항만, 도시 신재생에너지 발전사업

항만-도시 간 에너지 연계에 초점을 맞춰 진행된 연구와 사업은 현재까지 찾을 수 없었다. 다만, 차세대 에너지원으로 각광 받는 태양광과 풍력을 대상으로 한 연구, 사업은 다수 수행됐으며, 이 중 항만을 고려하거나 향후 항만과 도시와 연계할 수 있는 사업이 존재한다.

〈그림 3-13〉 수상태양광 발전 원리



자료: 건설기술(검색일: 2020. 1. 29)

2018년부터 본격적으로 해상태양광 활용에 대한 용역이 수행됐다. 이는 국토면적이 좁아 태양광 발전이 어려운 우리나라의 문제점을 타개하는 하나의 방안이라 볼 수 있다. 해상태양광은 수상태양광을 해상에 적용한 발전방식으로 볼 수 있다. 수상태양광은 계류장치로 고정된 부유체 위의 태양광 모듈에서 전기를 생산하고, 이를 수중케이블을 통해 지상 전력저장장치로 전달하는 시스템이다. 해상태양광은 일반 수상태양광과 달리 염분이나 파도, 태풍의 영향을 보다 면밀하게 검토해야 한다.

〈그림 3-14〉 수상태양광



자료: 특허청(검색일: 2020. 1. 29)

이와 관련한 용역은 2018년 3월에 해양수산부에서 공고한 『항만 신재생에너지(해상태양광발전) 도입 타당성조사 용역』이 있다. 신·재생에너지 중 태양광(해상) 발전을 육성하기 위해 전국 항만을 대상으로 해상태양광 발전을 도입·활용할 수 있는 지역을 파악하고, 입지여건이나 기술수준, 사업규모 등을 도출하며, 사업화를 위해 타당성을 검토했다.

2019년 10월 인천광역시를 포함한 한국남동발전(주), 인천지방해양수산청 등이 업무 협약을 체결한 『항만형 신재생에너지 전력망 구축사업』도 해상태양광 관련 사업이다. ESS, 해상태양광 등을 활용해 친환경 전력망을 마련하고, 특히 선박으로부터 배출되는 대기오염물질 발생을 억제하는 사업이다.[64]

풍력의 경우 동해와 인접한 울산시와 한국석유공사가 해상풍력을 적극적으로 활용하려는 움직임을 보여주고 있다. 2018년 11월 23일

64) 인천항만공사(2019. 10. 30)

『울산 200MW 부유식 해상풍력 발전단지 조성』 업무협약식을 체결해 풍황(풍속, 풍향, 패턴 등)을 조사하고 해상풍력을 활용하기 위한 협력을 약속했다.[65] 이는 2019년 7월 한국동서발전, 노르웨이의 국영석유사인 에퀴노르(Equinor)가 참여한 『동해1 해상풍력발전사업 컨소시엄』으로 발전했다.[66] 이들은 2019년 10월까지 풍황 자료를 기반으로 한 타당성조사를 완료하고, 2024년에는 풍력을 활용해 울산 지역에 전기를 공급하는 계획을 수립했다.

이러한 해상태양광과 해상풍력은 다른 인프라(예: 내륙 공항, 창고)에 비해 항만과의 연계가 용이하다. 또한, 항만과 인접한 도시로의 전력 공급도 용이하다. 이에 따라, 상기한 두 에너지 발전방식은 계속해서 관심을 받아왔고, 앞으로도 관련 사업이나 연구가 진행될 가능성이 높다고 보인다.

2. 항만과 도시의 에너지 문제와 절약 니즈

1) 스마트항만과 스마트시티의 에너지 수급 문제

'자원 공유'의 관점에서 스마트그리드를 항만-도시에 적용해 얻을 수 있는 주요 편익은 설비투자 감소로 볼 수 있다. 앞서 살펴본 바와 같이, 에너지 수요와 공급의 시간적 불균형은 초과 설비투자로 이어지기 때문이다.

편익 외 관점으로 스마트그리드를 '항만-도시 에너지 문제의 해법'으로 생각할 수 있다. 이를 심화하면, 항만과 도시 각각의 에너지 소

65) 한국석유공사(검색일: 2020. 1. 11)
66) 한국석유공사(검색일: 2020. 1. 12)

요로 인해 서로에게 끼칠 수 있는 부정적인 영향을 해결할 수 있는 해법으로도 생각할 수 있다.

하지만, 에너지(전기) 측면에서 항만이 도시에, 도시가 항만에 직접적인 영향을 끼친 사례는 실존 여부를 떠나 대외(對外)적으로 발표된 사례를 연구기간 동안 찾을 수 없었다. 하지만, 항만과 도시 각각이 겪은 정전 사례는 다수 존재한다.

정전은 크게 의도적 정전과 우발적 정전으로 구분될 수 있다. 의도적 정전은 시설 점검, 확충, 교체 등 의도적인 계획으로 인해 발생한다. 이에 반해 우발적 정전은 화재나 폭발, 벼락 등 인재나 천재지변으로 인해 발생한다. 예시로, 인도 자와하랄네루항(JNPT: Jawaharlal Nehru Port Trust)이 전기시설을 새것으로 교체하며 겪은 의도적 정전과 2011년 사이프러스(Cyprus)에서 폭발사고로 인해 겪은 우발적 정전이 있다.[67][68] 본문에서는 후자와 같은 우발적 정전을 소개한다.

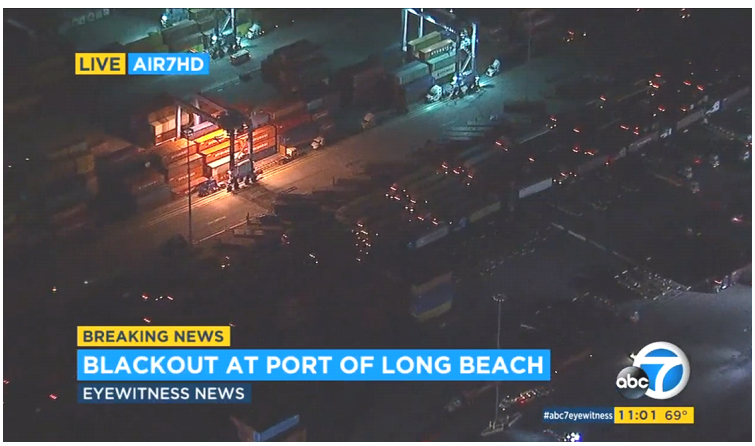
2013년 케냐 전력공사(the Kenya Power and Lighting)의 키페부(Kipevu) 발전소에서 발생한 화재로 3일간의 정전이 발생했다. 이로 인해 항만운영이 중단되고 뭄바사(Mombasa)시는 80만 달러가 넘는 손실을 겪었다. 케냐 항만공사(KPA: the Kenya Ports Authority)의 관계자는 75시간 이상 안벽크레인이 작동을 멈췄다고 언급했다. 동시에, 항만 게이트 운영에도 차질이 생겼다. 관계자는 2014년 초에 완공될 새 발전소가 뭄바사시의 에너지 문제를 해결해줄 것이라 기대했다.[69]

원인은 알 수 없으나, 2017년 4월 미국 롱비치항과 2018년 7월 영국

67) JOC(검색일: 2020. 6. 13)
68) Wikipedia(검색일: 2020. 6. 13)
69) PortTechnlogy(검색일: 2020. 6. 13)

리버풀항(Liverpool Port)이 겪은 정전사태는 외부트럭의 대기시간을 증가시켜 게이트 운영에 지장을 주기도 했다. 리버풀항 관계자는 정전문제를 당일 해결했음을 발표하면서 항만운영을 정상화하는 데 36시간 이내가 소요됐음을 언급했다.[70][71] 이는 정전이 발생할 경우 설사 그 문제를 바로 해결하더라도 항만운영 정상화에는 그 이상의 시간이 소요됨을 의미한다.

〈그림 3-15〉 롱비치항 정전사태



자료: abc7(검색일: 2020. 6. 13)

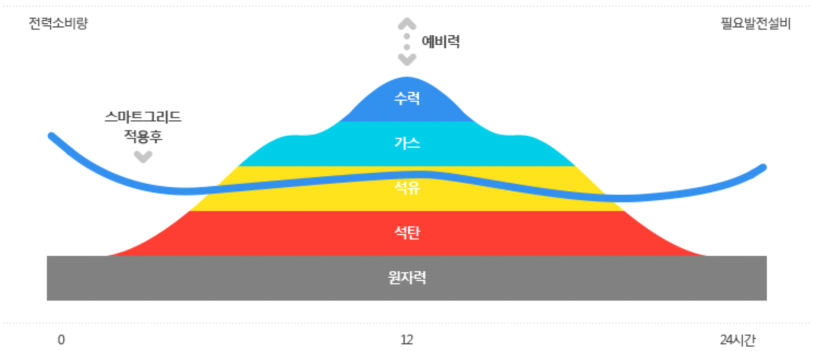
2) 스마트 에너지관리시스템-스마트그리드

최근 효율적인 에너지 활용을 위한 스마트그리드(Smart Grid)가 주목을 받고 있다. 스마트그리드란 정보공유 및 전력저장기술 등 첨단기술을 활용해 전력망을 스마트화한 것으로 불필요한 에너지 생산을 줄이고 친환경 에너지 활용을 극대화한다. 우리나라의 경우 주로

70) abc(검색일: 2020. 6. 13)
71) PortTechnology(검색일: 2020. 6. 17)

여름과 겨울 오후 시간대에 전기 소비가 집중돼 있으므로, 스마트그리드를 통한 에너지 활용 최적화가 더욱 효과적일 수 있다.[72] 스마트그리드가 주는 대표적인 이점은 다음 그림과 표에 정리되어 있다.

〈그림 3-16〉 우리나라 시간대별 에너지 니즈



자료: Kepco(검색일: 2020. 6. 22)

〈표 3-13〉 스마트그리드 적용 전후 비교

비교항목	적용 전	적용 후
발전형태	중앙 집중형	중앙 집중 및 분산
에너지원	화석연료	신·재생에너지
전력·정보 흐름	단방향	양방향
설비운영 주체	공급자	소비자(수요자)

자료: Kepco(검색일: 2020. 6. 21)의 자료를 바탕으로 저자 정리

스마트그리드에서의 정보공유 기술은 양방향 통신을 기반으로 실시간 정보를 공유해 에너지 소비를 최적화한다.[73] 특히, 전력 공급과 수요를 실시간 정보를 기반으로 관리해 적정 전기요금을 산정하거나 전력망 모니터링을 통해 문제를 진단하고 효과적으로 대응할 수 있

72) Kepco(검색일: 2020. 6. 22)
73) 이일우·이정인(2010), p. 6.

도록 한다.

에너지 저장 시스템(ESS: Energy Storage System)은 스마트그리드에서 활용할 수 있는 가장 대표적인 전력저장기술이다. 일반적으로 ESS라 하면 대용량 배터리만을 생각하는 경우가 많다. 하지만, ESS는 배터리, 배터리관리시스템(BMS: Battery Management System), 전력변환장치(PCS: Power Conversion System), 전력관리시스템(PMS: Power Management System)으로 구성된다. BMS는 이름 그대로 배터리를 관리하기 위한 시스템이고, PCS는 직류와 교류를 필요시 변환시키는 양방향 변환장치이다. PMS는 ESS에서 생산·관리되는 전력을 관리하는 시스템이다.[74]

상기된 정보공유기술과 전력저장기술은 스마트그리드의 핵심이라 볼 수 있다. 이는 항만, 도시 각각에 적용될 수 있지만 장기적으로 보면 항만-도시 연계에도 포괄적 적용이 가능하다. 이는 '자원 공유'의 관점에서 참여자가 많을수록 편익이 커지기 때문이다.

제4절 해외 항만-도시 연계 사례

1. 항만-도시 교통흐름 연계 사례

1) 일본의 항만-도시 교통(인프라) 흐름 연계 사례

일본은 스마트시티 개념에서 스마트 항만도시 프로젝트를 추진하고 있다. 일본의 스마트시티는 초스마트사회(Society 5.0) 혁신을 통

74) Sateng(검색일: 2020. 6. 25)

한 도시 문제 해결, 지속가능한 도시를 건설하는 것이다. 일본의 스마트시티는 ICT 등 신기술을 활용하여 계획, 정비, 관리, 운영 업무 등을 수행하고 도시 혹은 지구 전체 최적화를 도모하는 장소로 정의했다. 스마트시티의 주요 키워드는 자연과의 공생(nature), 에너지 효율성(Energy), 안전·보안(Safety & Security), 모빌리티(mobility), 자원순환(recycle)이다.

〈그림 3-17〉 일본 스마트시티 개념도

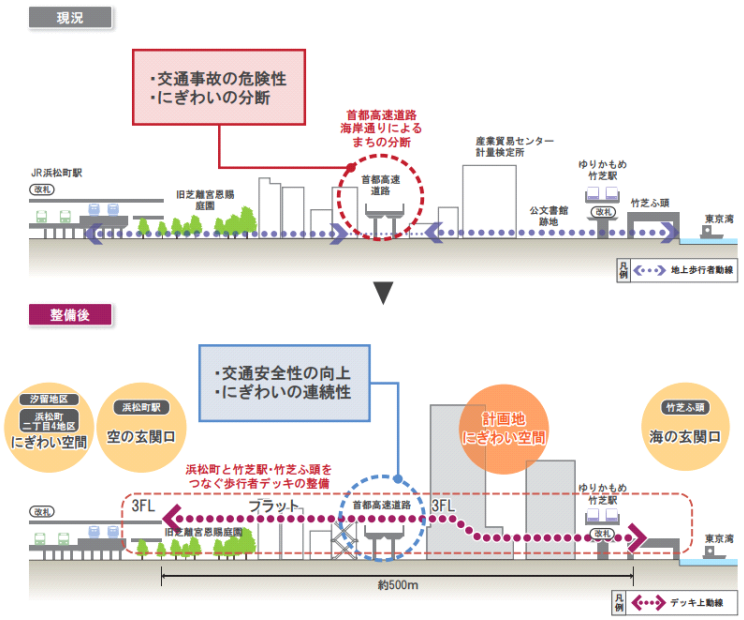


자료: 일본 국토교통성(검색일: 2020. 8. 20)

항만이 있는 도쿄도항만(東京都港區) 다케시바지구(Takeshiba)에 빅데이터, 로보틱스, 모빌리티, AR, VR, 5G, 드론, 스마트빌딩 등의 기술을 검증하기 위한 프로젝트를 추진하고 있다.

도쿄 항만도시 다케시바지구는 디지털과 콘텐츠를 축으로 사람, 정보, 비즈니스를 연결하는 새로운 스타일의 도시를 건축하는 것을 목표로 하고 있다. ㈜아루베로그란데가 사업을 추진하고 있으며 MaaS(Mobility As a Service) 실증시험, 국제 비즈니스 거점 구축, 포트 스타디움 건축, 항만(도쿄 관문인 다케바시 지역)과 철도역(JR야마노테선, 하마마쓰마찌역), 하네다 공항을 연결하는 보행자 테크 구축 사업을 진행하고 있다.

〈그림 3-18〉 항만-철도-공항을 연결하는 보행자 데크 개념도



자료: 다케시바지구개발계획, 도큐부동산주식회사 자료(2019)

2) 싱가포르의 교통혼잡 및 공간이용 개선

도시와 항만의 연계 또는 각각의 개선이 서로를 개선하거나 개선을 기대하는 사례는 싱가포르를 통해 알 수 있다. 다만, 싱가포르 사례의 경우 '스마트화'나 '연계'라는 수단을 목적으로 삼은 것이 아니라, 항만과 도시의 품질 개선이라는 가치에 목적을 두었다.

싱가포르는 크게 두 가지 변화를 시도하고 있다. 첫 번째, 싱가포르는 현재 도심에 위치한 PSA(Port of Singapore Authority) 터미널 운영개선을 위해 투아스(Tuas)로 이전하는 계획을 수립했다. 싱가포르 서쪽 해안에 위치한 투아스는 다양한 기업, 공장 및 물류 허브기지를 품고 있어 높은 수준의 물류 서비스를 제공하기에 적합하다.

두 번째로 PSA는 항만의 처리능력을 개선하기 위해 기술 부문 투자를 계속해왔다. 이는 단순히 물리적인 장비뿐 아니라, 장비 활용 계획이나 최적화 등 소프트웨어적인 측면을 포함한다. 대표적인 장비는 무인운송차량(AGV: Automated Guided Vehicle)으로 투아스 터미널에서 운용될 계획이다.

이러한 변화는 싱가포르의 항만-도시 스마트화와 맞물려 교통혼잡과 항만 및 도시의 공간이용을 개선하고, 지속가능한 개발을 달성하는데 직간접적인 영향을 준다. 싱가포르의 항만-도시 스마트화는 현재 진행 중으로 제시된 편익은 향후 비판적인 시각으로 바라볼 필요가 있다.

항만 인근 지역의 육상교통은 항만운영뿐만 아니라 도시 관리에도 큰 영향을 미친다. 이상적인 환경에서는 항만의 운영으로 인해 도시의 교통류가 악화되지 않고, 도시는 합리적인 공간이용 계획을 통해 항만으로 접근하는 교통류의 혼잡도를 최소화해야 한다. 이로 인해, 항만 입지를 고려할 때 지상 교통류는 점차 중요한 요인으로 여겨지고 있다.

현재 도심에 위치한 싱가포르항은 2027년 투아스로 이전할 계획이다. 이로 인해 초대형선박에 더 나은 하역서비스를 제공할 수 있을 뿐 아니라, 효율적 레이아웃을 통해 항만 및 도심 공간 활용을 개선할 수 있게 된다. 특히, 도심 공간을 다른 용도로 사용할 수 있게 되므로 기존 도심에 위치한 상업지구를 확장할 수 있는 기회를 마련한다. 특히, 서쪽 해안에 위치한 투아스는 산업단지(예: 공장)로의 접근성이 좋아 현재 싱가포르 도심이 겪고 있는 교통혼잡 문제를 해결하는 데 도움을 줄 것으로 보고 있다.

2. 항만-도시의 지속가능 발전 사례

1) 싱가포르의 항만-도시 친환경 발전 사례

강화된 친환경 항만 프로그램(GPP: Green Port Programme)은 싱가포르에 기항하는 선박들이 오염물질 배출을 최소화하도록 권고하고 있다. LNG 선박이나 IMO 에너지 효율 설계 지수(EEDI: Energy Efficiency Design Index) 요구조건을 충족한 선박의 경우, 전체 또는 5일 이하의 기항기간 동안 입항료의 25% 할인을 받을 수 있다. 구체적인 혜택은 〈표 3-14〉를 통해 확인할 수 있다.

〈표 3-14〉 싱가포르항의 인센티브

항목	인센티브	
	등록비 할인율	연간 톤수세 환급률
EEDI 조건을 초과 달성한 에너지 효율 선박 설계 달성	50%	20%
LNG 채택	75%	50%
LNG보다 탄소 함량이 낮은 연료 채택	50%	20%
EEDI 조건을 초과 달성한 에너지 효율 선박 설계 달성 및 LNG보다 탄소 함량이 낮은 연료 채택	75%	50%

자료: MPA Singapore(2019)

또한, 싱가포르의 해운 그린 이니셔티브(MSGI: the Maritime Singapore Green Initiative)는 해운 및 관련 업무로 인한 환경영향을 감소시키고 궁극적인 친환경 해운을 달성하는 것을 목표로 한다. 2011년 싱가포르 항만청(MPA: the Maritime and Port Authority of Singapore)은 MSGI로 5년간 최대 1억 달러[75]의 투자를 약속했다.

2019년에는 MSGI가 2024년 12월 31일까지 연장됐고, 해운에서의 탈탄소화를 더욱 강조하게 됐다.

MSGI는 친환경 선박 프로그램(Green Ship Programme), 친환경 항만 프로그램(Green Port Programme), 친환경 에너지 및 기술 프로그램(Green Energy and Technology Programme), 친환경 인식 프로그램(Green Awareness Programme)으로 구성된다. 이들 프로그램은 국제해사기구 협약이 요구하는 친환경 기준에 부합하는 기업들에 인센티브를 제공하기 위해 설계된 것으로 기업의 자발적인 참여를 독려하는 역할을 수행한다.

지속가능 발전의 다른 영역인 에너지 관점에서 항만을 살펴보면, 항만은 과거 단순 에너지 수요처에서 에너지 중립·자립을 꿈꿀 수 있는 에너지 생산처의 역할을 동시에 수행할 수 있을 것으로 여겨진다. 이는 단순히 항만을 넘어 배후도시로도 대상이 확대될 수 있다.

싱가포르의 주롱항(Jurong Port)은 3,000만 달러[76] 규모의 태양광 패널을 창고 옥상에 설치 완료했고, 이를 통해 세계 최고의 항만형 태양광 시설을 보유한 항만으로 등극했다. 연간 1,200만kWh 이상의 전력을 생산할 것으로 추산되며, 이는 항만 전력수요의 60% 이상을 상쇄할 것으로 예상된다. 초과 생산되는 에너지는 에너지 그리드를 통해 수출될 것이다. 주롱항은 태양광 설비로 연간 5,200톤의 탄소배출량을 감소시킬 것으로 선언하기도 했다.

75) 싱가포르 달러.
76) 싱가포르 달러.

2) 항만-도시 에너지 연계 사례

(1) EPIC 2020

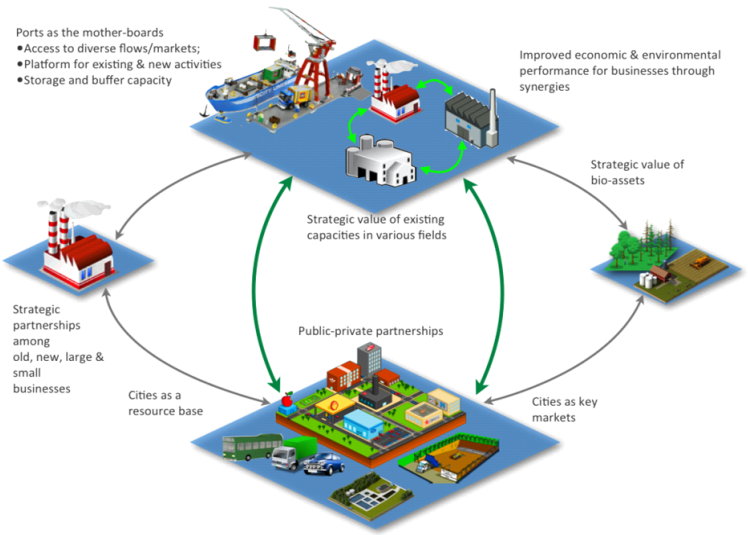
항만과 인근 지역의 산업적 공생을 고려한 해외의 대표적 에너지 그리드 사례는 'Symbiotic bio-Energy Port Integration with Cities by 2020'이다. 해당 과제의 목적은 항만과 인근 지역에 산업적 공생 관계를 적용해 상호 에너지 흐름의 잠재력을 향상하고, 나아가 지속 가능한 발전을 달성하는 데 있다. 이를 위해 항만 인근 지역의 바이오 에너지 자원을 활용함으로써 효율적이고 탄소중립적인 항만-도시 통합 에너지 시스템으로 전환한다는 목표를 수립했다.

통칭 'EPIC 2020'으로 불리는 이 과제는 2013년부터 2016년까지 총 3년간 수행됐다. 대상지역은 이탈리아의 Mantova, 그리스의 Akarport, 스웨덴의 Malmö, 독일의 Wismar 항만과 인근 지역이다.

EPIC 2020은 총 4단계에 걸쳐 실행됐다. 먼저 항만-도시의 에너지 네트워크를 설계하고, 바이오 에너지 자원의 잠재력을 평가했으며, 바이오 에너지 기반 산업 발전을 분석하고, 바이오 에너지 기반의 도시-항만 발전을 위한 공공 인센티브를 형성했다.

〈그림 3-19〉의 항만은 마더보드로 ⅰ) 다양한 시장으로의 접근을 위한 관문, ⅱ) 현존하거나 새로운 활동의 플랫폼, ⅲ) 화물 저장 공간의 역할을 하게 된다. 배후단지의 농장 등은 도시에 농축산물을 공급함과 동시에 항만의 입장에서는 전략적 가치를 지닌 생물학적 자산을 가진 공간으로 인식된다.

〈그림 3-19〉 EPIC 2020 개념도



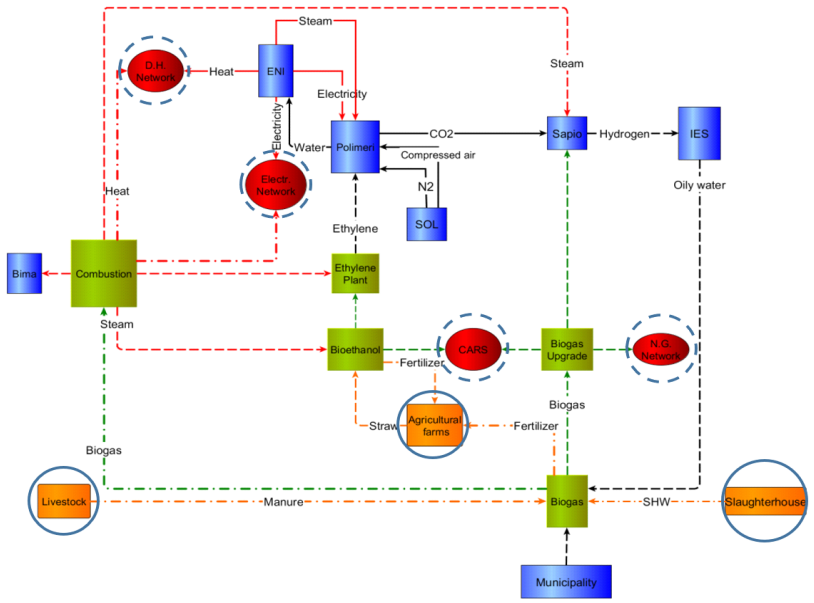
자료: EPIC(검색일: 2020. 5. 4)

EPIC 2020의 결과물로 각 항만-도시에 대한 에너지 그리드가 결과물로 제시됐다(〈그림 3-20〉~〈그림 3-23〉 참조). 각 그림에서 실선 원형으로 표기된 사각형은 바이오 자원을 나타낸다. 다시 말해 농장이나 숲, 사육장 등에서 바이오 에너지원을 생성함을 의미한다. 점선 원형으로 표기된 타원은 에너지가 공급되는 사용처(예: 버스)를 의미한다. 지역별 산업이나 지리적 특성의 차이로 각 지역의 에너지 그리드가 상이하게 그려졌다.

EPIC 2020의 에너지 그리드는 공동 바이오 에너지 자원기반 항만-도시 공생 및 통합 개념을 의미하기도 한다. 과제에는 바이오 매스와 바이오 에너지 흐름의 상호 연결을 명확히 하고, 바이오 에너지의 잠재력을 평가했다.[77]

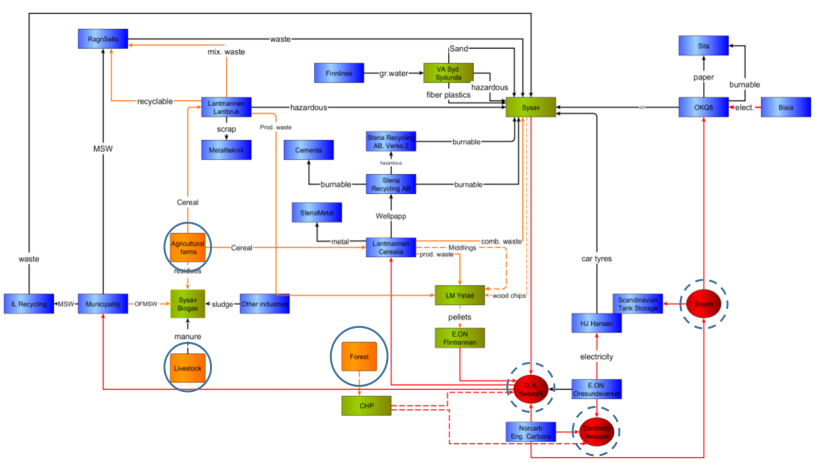
77) European Commission(검색일: 2020. 8. 26)

〈그림 3-20〉 EPIC 2020 Mantova 자원 흐름



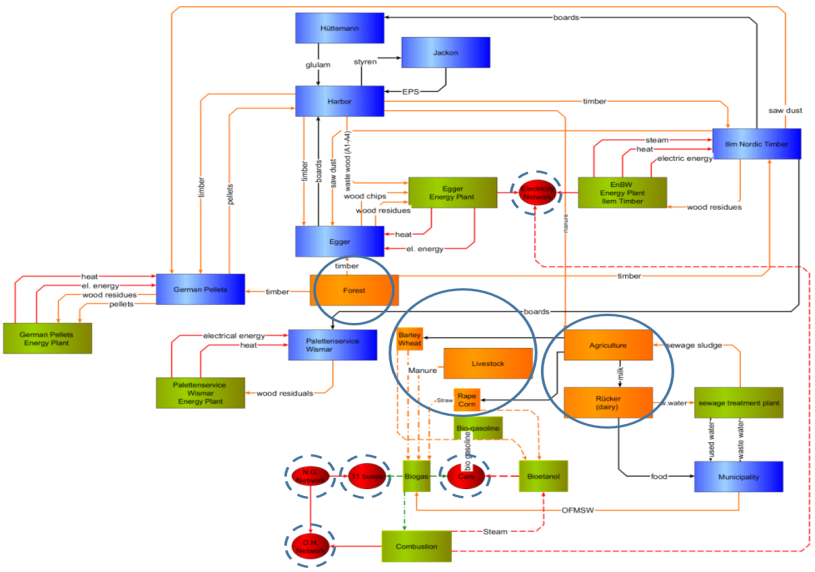
자료: EPIC(검색일: 2020. 5. 4)

〈그림 3-21〉 EPIC 2020 Malmö 자원 흐름



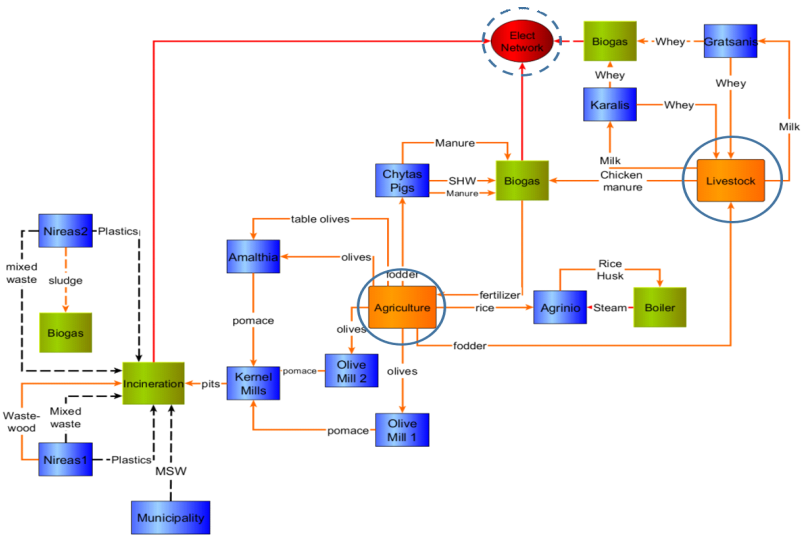
자료: EPIC(검색일: 2020. 5. 4)

〈그림 3-22〉 EPIC 2020 Wismar 자원 흐름



자료: EPIC(검색일: 2020. 5. 4)

〈그림 3-23〉 EPIC 2020 Akarport 자원 흐름



자료: EPIC(검색일: 2020. 5. 4)

(2) 일본 가고시마 메가 태양광[78]

바이오 에너지를 활용한 EPIC 2020과는 달리, 일본 가고시마에서는 태양광 발전소 건설사업(Kagoshima Nanatsujima Mega Solar Power Plant)이 진행됐다. 약 270억 엔의 비용이 투자됐고, 2012년에 발전소 건설을 시작해, 2013년 이후 운영됐다.

발전용량은 7만 8,000MWh이며, 본 과업은 2만 2,000가구에 전력을 공급하고, 매년 2만 5,000톤의 탄소배출을 절감하는 것을 목표로 설정했다. 발전소에서 생산된 전기는 지역 전력사인 규슈전력(Kyushu Electric Power)에 20년 동안 판매될 예정이다.

〈그림 3-24〉 가고시마 태양광



자료: Youtube(검색일: 2020. 2. 7)

78) Power Technology(검색일: 2020. 8. 26)

(3) 제미니 풍력사업[79][80]

제미니 풍력사업[81]은 네덜란드 해안으로부터 85km 떨어진 해역 'Buitengaats'와 Zee-energie'를 대상 지역으로 한 해상풍력 사업이다. 2015년부터 건설을 시작해 2017년부터 운영 중이다. 추정 투자비는 약 28억 유로로, 지멘스(Siemens)를 비롯한 Northland Power, HCV, Oord가 사업에 참여했다.

〈그림 3-25〉 제미니 해상풍력 대상지 전경

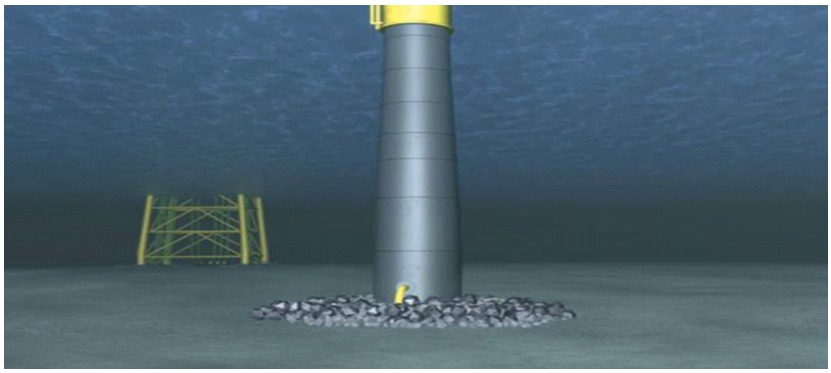


자료: Power Technology(검색일: 2020. 2. 2)

사업의 핵심은 수심 28~36m의 대상 해상구역에 풍력발전기를 설치해 2.6TWh의 전기를 생산하고 약 78만 5,000가구에 전력을 공급하는 것이다. 이로 인해 매년 약 125만 톤의 이산화탄소 배출을 절감하고, 600여 개의 일자리를 창출할 것으로 기대하고 있다.

79) Power Technology(검색일: 2020. 8. 24)
80) Wikipedia(검색일: 2020. 8. 26)
81) Gemini Wind Power Project 또는 Gemini Wind Farm.

〈그림 3-26〉 풍력발전기 설치 개념도



자료: Power Technology(검색일: 2020. 2. 2)

3. 싱가포르 전문가의 스마트항만-도시연계 의견

본 소절은 싱가포르 현지 전문가에게 요청·수행한 인터뷰 조사결과를 소개한다. 인터뷰의 주제는 '전문가 관점에서의 스마트항만과 도시연계의 동인과 효과'이며, 응답자는 선사나 대형물류 기업 등에 종사하는 9명으로 구성됐다(표 3-15 참조). 인터뷰 조사에 사용한 설문지는 부록에 수록돼 있다.

〈표 3-15〉 응답자별 조직 및 직책

조 직	직 책[82]
PCL Tankers Pte Ltd	General Manager
OM Maritime Pte Ltd / Institute of Chartered Shipbrokers	Adjunct Faculty (Shipping Business)
Proctor and Gamble	Process Engineer
DHL Supply Chain	Manager(Strategy Implementation, Asia Pacific)
National University of Singapore	Associate Professor
Bayer	APAC Commodity Manager
Maersk	Head of Liner Operations, Asia Pacific

조 직	직 책[82]
Klaveness Digital	APAC BD Manager
Shell	Head of Shipping & Maritime

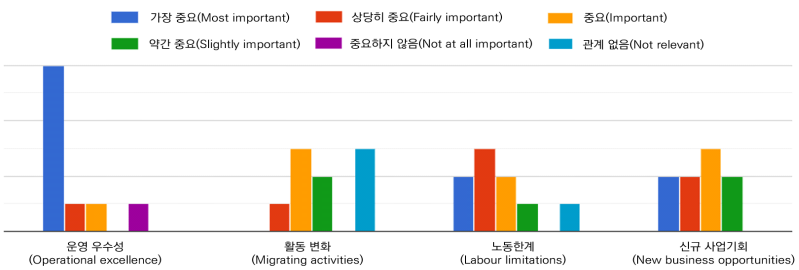
자료: 저자 작성

이들을 대상으로 스마트항만, 도시 각각 및 연계 동인과 효과를 인터뷰를 통해 조사했고, 특히 효과의 경우 혼잡, 선박 배출, 지속 가능 발전성, 거주 적합성 및 에너지 효율 부문으로 나누어 정리됐다.

스마트항만의 가장 큰 동인은 시간 절약이나 보안성 및 추적성 강화를 잠재적으로 가져오는 것은 운영상의 우수성으로 조사됐다. 다음 동인으로는 노동 측면의 제약 완화로, 이는 인건비 감소와 자동화를 통한 효율 개선을 통해 달성될 수 있는 영역이다. 이에 반해, 새로운 사업영역 창출이나 산업 내 시프트(교통망 내 또는 무역 패턴)를 통한 동인은 전문가의 시각에 따라 큰 차이를 보인다.

이를 통해, 스마트항만도 결국 항만의 역할을 수행하므로 항만 존재의 근본적인 원인(물류 서비스 제공)과 이를 효율적으로 수행하려는 니즈가 스마트항만 개발의 동인임을 알 수 있다. 동시에, 비용 측면에서 항만운영의 효율을 달성하려는 니즈 또한 스마트항만의 동인임을 알 수 있게 해준다.

〈그림 3-27〉 인터뷰 결과: 스마트항만의 동인

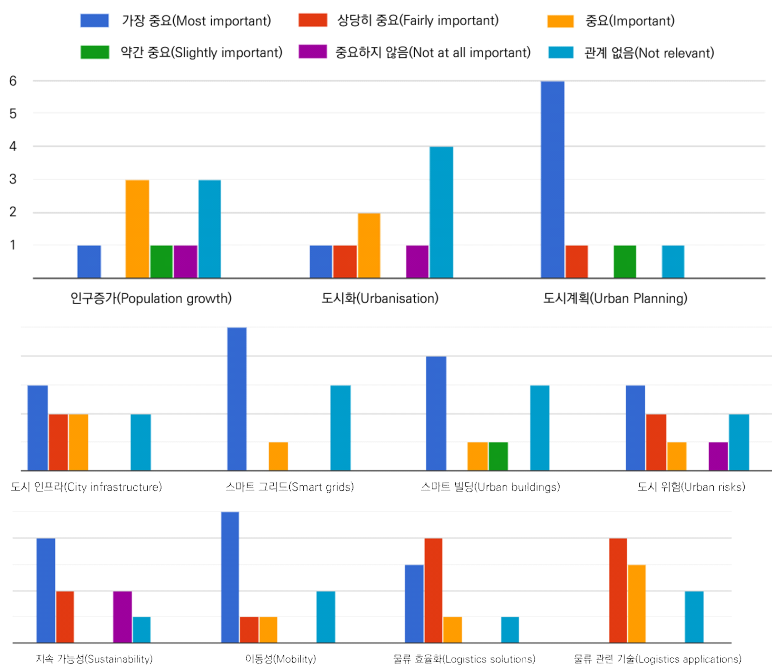


자료: 저자 작성

82) 오역의 위험을 없애기 위해, 번역하지 않음.

스마트도시의 동인을 알아보기 위해, 스마트항만 동인 조사보다 더 많은 항목을 채택해 조사를 수행했다. 대상 전문가 집단이 대부분 동의하는 스마트도시의 동인은 ⅰ) 환경이나 삶의 질과 관련한 도시 계획(urban planning), ⅱ) 물류 개선(logistics solution), ⅲ) 산업 전반적인 혁신(innovation)으로 여겨진다. 이는 인간의 삶의 터전이 됨과 동시에 환경에 직접적 영향을 끼치는 도시의 개선이 필요로 함을 알 수 있으며, 물류 개선이나 산업 전반의 혁신이 스마트도시를 통해 달성될 수 있음을 믿기 때문으로 여겨진다.

〈그림 3-28〉 인터뷰 결과: 스마트도시의 동인(1)

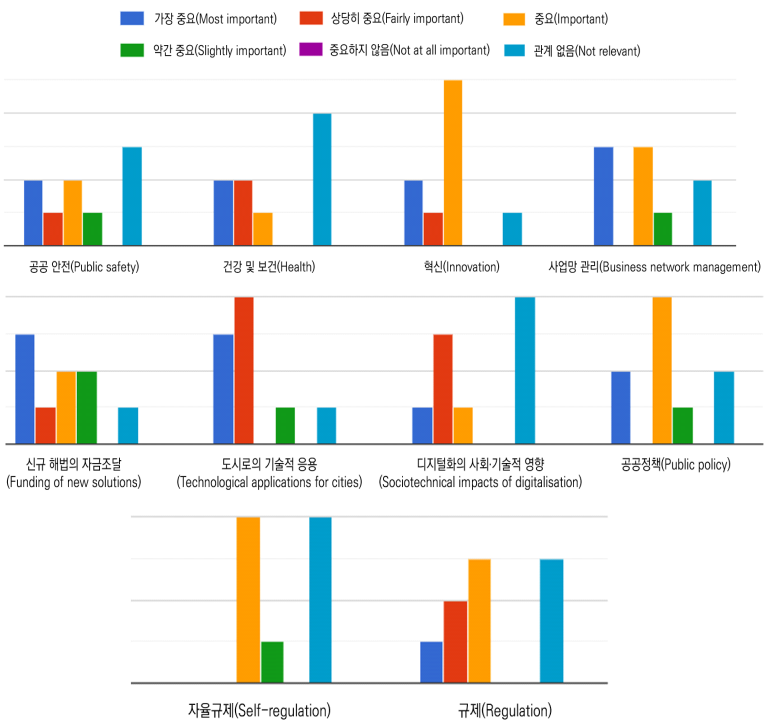


자료: 저자 작성

이에 반해, 인구 증가(population growth)나 도시화(urbanization), 자치(self-regulation)는 스마트도시의 동인으로 작용하지 않는다고

전문가들은 답변했다. 이들은 스마트화보다 전통적인 해법(예: 인구 증가의 해법으로 주택 공급 수행)이 더 효율적일 수 있고, 스마트도시가 특정 개념(예: 도시화)을 포함하기 때문에 이들을 동인으로 생각하지 않았다고 유추할 수 있다. 스마트그리드나 빌딩, 지속가능성 등 나머지 항목들은 대체로 스마트도시의 동인으로 여겨지나, 일부 전문가의 반론 역시 존재함을 알 수 있다.

〈그림 3-29〉 인터뷰 결과: 스마트도시의 동인(2)

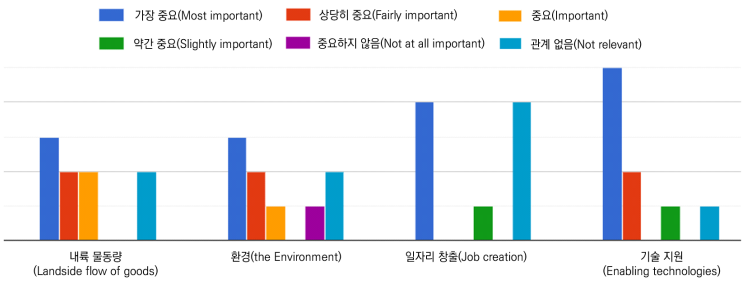


자료: 저자 작성

스마트항만-도시의 연계 동인으로는 기술 활용성 향상(enabling technologies)이 지배적으로 여겨졌다. 육측 물류나 환경 영역 역시 중요 동인으로 여겨지는 듯했으나, 일부 전문가는 이에 대해 회의적

인 생각을 보였다. 다만, 전반적으로는 아래 소개된 요인들이 스마트항만-도시연계에 영향을 끼친다고 생각하고 있다고 볼 수 있다.

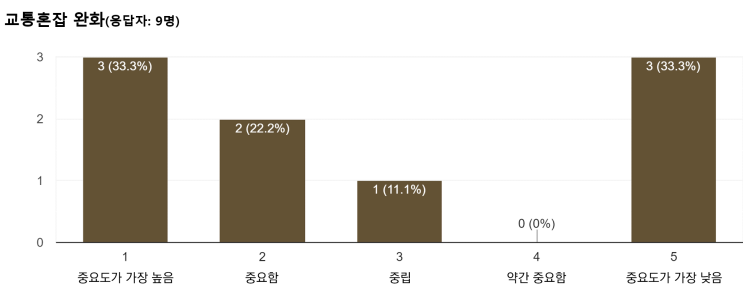
〈그림 3-30〉 인터뷰 결과: 스마트항만과 도시의 연계 동인



자료: 저자 작성

스마트항만-도시의 교통혼잡 절감 편익에 대한 전문가 관점을 보여준다. 일부는 매우 부정적이었지만, 전반적으로 교통혼잡 절감 편익에 대해 긍정적으로 생각함을 알 수 있었다. 설문을 진행하며 수행한 인터뷰에서 전문가 세부의견은 ⅰ) 항만에서 유발되는 교통량 중 도시를 통과하는 비율이 높지 않을 수 있음, ⅱ) 내륙 교통혼잡과 항만운영 사이의 불분명한 상관관계가 존재, ⅲ) 도심 혼잡 및 오염감소 기대, ⅳ) 로테르담이나 로스앤젤레스, 상하이항 같은 관문항에 관련성이 높을 것 등이 있었다.

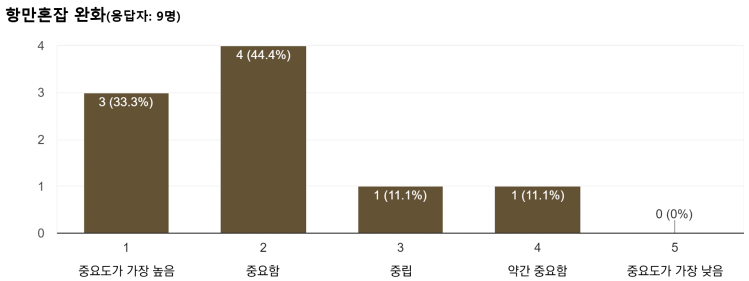
〈그림 3-31〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 교통혼잡 절감 효과



자료: 저자 작성

스마트항만-도시가 항만 혼잡에 주는 효과에 대한 전문가의 전반적 의견은 〈그림 3-32〉에 정리되어 있다. 대부분 항만 혼잡이 완화될 것으로 보았으며, 세부의견으로는 i) 대기시간은 항만 혼잡과 성장에 악영향을 줄 것, ii) 연계도 중요하지만, 양질의 계획과 효율적인 자원 활용의 결과로 항만 혼잡이 개선될 것, iii) 연계는 궁극적으로 항만의 효율성과 생산성을 향상할 것 등이 있었다.

〈그림 3-32〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 항만혼잡 절감 효과

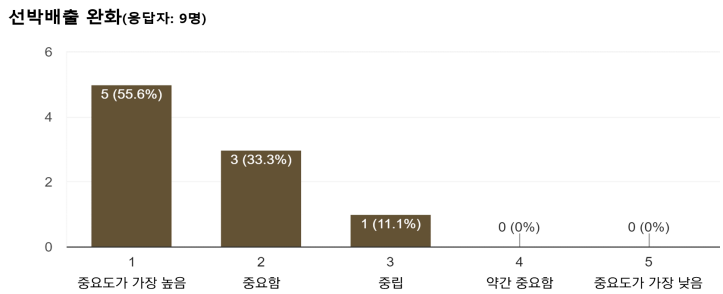


자료: 저자 작성

선박으로부터의 배기가스 등 배출은 항만운영사나 도시 관리 관계자의 주요 관심사로 볼 수 있다. 전문가들은 스마트항만-도시연계가 선박 배출감소에 긍정적인 영향을 줄 것으로 판단했다(〈그림 3-33〉 참조). 특히, 항만공동체나 기업의 사회적 책임에 대한 기대가 높아짐에 따라, 스마트항만-도시연계 역시 배출문제에 관심을 가지며 긍정적 효과를 가져올 것으로 기대했다.

전문가들은 i) 해상에서의 배출감소는 훌륭한 파트너와 자금이 핵심이고, ii) 배출감소와 같은 지속가능성에 관심을 둔 회사가 앞으로 경쟁력을 갖출 수 있을 것이라는 세부의견을 전달했다.

〈그림 3-33〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 선박배출 절감 효과

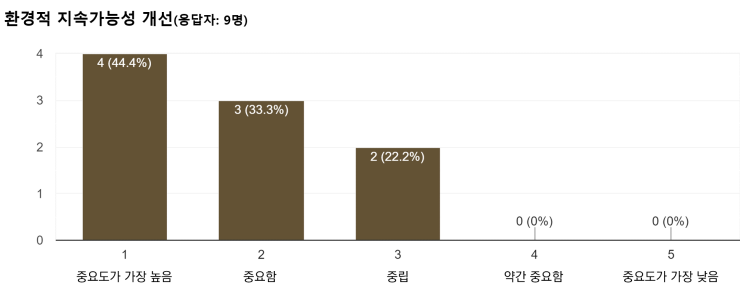


자료: 저자 작성

선박배출을 포함하는 지속가능성 개선 또한 핵심 관심사며, 전문가들은 스마트항만-도시 연계가 지속가능성을 개선하는 데 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대했다(〈그림 3-34〉 참조). 전문가들은 지속가능성과 관련한 기준이 각 기관마다 다름을 강조하며 연계가 환경개선 요건을 충족하는 역할을 수행할 수 있을 것으로 생각했다.

전문가들은 i) 향후 항만 내 지속가능성은 타 항만과의 차별화 요소가 될 것으로 기대하고, ii) 지속가능성은 일상 운영뿐 아니라, 기업의 사회적 책임의 일부로서 중요할 수 있다고 생각하며, iii) 모든 조직이 규제에 적극적으로 대응해야 하는 것은 불가피할 것으로 여겼다.

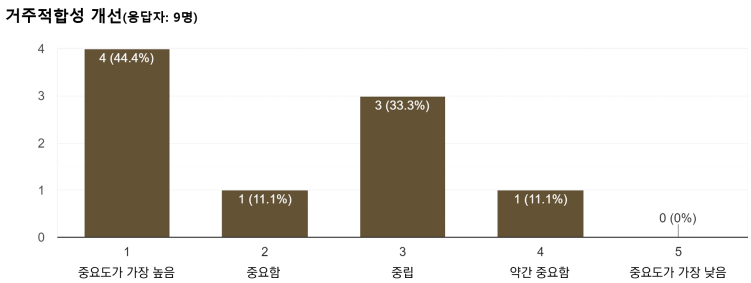
〈그림 3-34〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 지속가능 발전 효과



자료: 저자 작성

스마트항만-도시연계는 거주 적합성 개선에도 긍정적 효과를 가져올 것으로 기대됐다(〈그림 3-35〉 참조). 인터뷰 조사에 응한 전문가들은 싱가포르 역시 스마트항만-도시연계를 통한 생활 수준 향상을 위해 노력해야 함을 언급했다. 전문가들은 또한 ⅰ) 거주 적합성 개선은 모든 공공부문 이니셔티브의 목적이 돼야 하고, ⅱ) 배출감소나 지속가능성 향상을 달성하면 거주 적합성 또한 개선될 것으로 보았다.

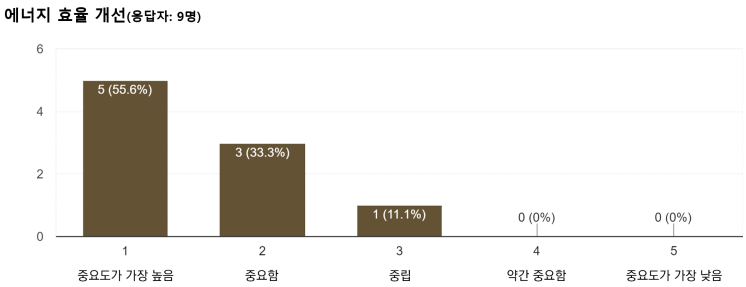
〈그림 3-35〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 거주적합성 개선 효과



자료: 저자 작성

전문가들은 스마트항만-도시연계가 에너지 효율 개선에 매우 긍정적인 역할을 수행할 것으로 판단했고(〈그림 3-36〉 참조), 연계를 통해 산업계는 에너지 비용을 절감하는 방향으로 나아갈 것이라 기대했다. 세부적으로 ⅰ) 스마트항만-도시 연계를 포함한 모든 산업활동은 가능한 한 에너지를 효율적으로 사용하도록 해야 하고, ⅱ) 폐기물 방지나 대체에너지원에 대한 인식을 조성해야 하며 ⅲ) 에너지 효율 개선만으로는 항만 고객에게 직접적인 영향을 끼치지 않으므로 폭넓은 지속가능성 제고 전략의 일부로 에너지 부문을 여겨야 한다고 언급했다.

〈그림 3-36〉 인터뷰 결과: 스마트항만-도시의 에너지 효율 개선 효과



자료: 저자 작성

종합하면, 전문가들은 스마트항만의 동인으로 운영 우수성을 활동 변화나 노동한계, 신규 사업기회보다 더 중요하게 평가했다. 이는 스마트항만이 전통적 항만의 기능인 하역을 개선하고 최적화하기 위한 하나의 수단이나 방향으로 인식됨을 말한다. 신규 사업기회와 노동한계 역시 주요 동인으로 인식됐으며, 활동 변화를 스마트항만의 핵심 동인으로 보는 의견은 소수에 불과했다.

스마트도시의 주요 동인은 도시계획으로 조사됐다. 이는 도시계획이 포함하는 도시 전반의 환경 및 대기 질 개선, 웰빙 니즈가 스마트도시로의 발전으로 발현됨을 보여준다. 인구증가나 도시화, 스마트그리드, 물류 등은 전문가 의견이 상충함을 알 수 있었다. 이는 관점에 따라 스마트도시가 각 동인 후보의 해법이 될 수 있으나, 합의에 도달한 것이 아님을 말해준다.

마지막으로, 인터뷰 대상자들은 스마트항만-도시는 교통, 항만 혼잡이나 선박 배출을 감소시키고 지속가능성과 거주 적합성, 에너지 효율 개선 효과를 가져온다고 응답했다. 즉, 항만과 도시의 연계는 다양한 편익을 가져오리라 판단된다.

제4장

한국형 스마트 항만도시 개념 정립 및 발전 방향

본 장에서는 2장과 3장의 항만도시 성장모형을 기반으로 한 발전 단계 특징과 해외 항만도시의 적용기술 및 개선 방향을 기반으로 국내외 주요 항만도시의 스마트화에 따른 변화 및 속성을 추출한다. 스마트 항만도시 속성에 대한 대국민 선호도를 기반으로 한국형 스마트항만 도시 개념을 정립한다.

제1절 항만도시의 유형화

「스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률」 제2조의 정의에 따르면 '스마트도시'란 "도시의 경쟁력과 삶의 질의 향상을 위하여 건설·정보통신 기술 등을 융·복합하여 건설된 도시기반시설을 바탕으로 다양한 도시서비스를 제공하는 지속가능한 도시를 말한다"라고 언급되고 있다.[83] 법에 따르면 '스마트도시산업'이란 "스마트도시

기술과 스마트도시기반시설, 스마트도시서비스 등을 활용하여 경제적 또는 사회적 부가가치를 창출하는 산업"을 말한다. 스마트도시기술은 "스마트도시기반시설(지능화시설, 정보통신망, 관리운영시설, 정보수집가공을 위한 장치·시설)을 건설하여 스마트도시서비스(행정·교통·복지·환경·방재 등 도시 주요 기능 정보 연계 서비스)를 제공하기 위한 건설·정보통신 융합기술과 정보통신기술"이라고 법에 명시되어 있다.[84]

스마트항만은 항만 내부뿐만 아니라 해운과 항만도시 등 전체 공급망 내 모든 이해관계자들이 디지털 기술로 연계되고 신뢰를 기반으로 한 협업으로 항만물류 측면에서 운영 효율성이 향상되고 최적화되어 지속가능한 성장이 가능한 항만이다.[85]

항만도시는 항만이 위치한 도시로 수출입 무역 및 교역을 지원하는 기능을 수행한다. 스마트시티 관점에서 스마트 항만도시를 정의하면 "항만도시의 경쟁력과 삶의 질의 향상을 위하여 건설 · 정보통신 기술 등을 융 · 복합하여 건설된 도시 및 항만 기반시설을 바탕으로 다양한 도시서비스 및 수출입 물류서비스를 제공하는 지속가능한 항만도시"를 말한다.

스마트 항만도시는 정보통신기술 등 스마트기술이 접목되어 도시서비스뿐만 아니라 수출입 등 항만물류 서비스를 원활하게 제공하고 항만과 도시가 상호 연계되어 지속가능한 발전을 해야 한다. 정보통신기술이 접목된 스마트항만과 스마트시티 건설로 스마트 항만도시는 구현되지 않는다.

---

83) 국가법령정보센터(검색일: 2020. 8. 14)
84) 위의 책, 국가법령정보센터.
85) 이언경 외(2019. 12), pp. 74-76.

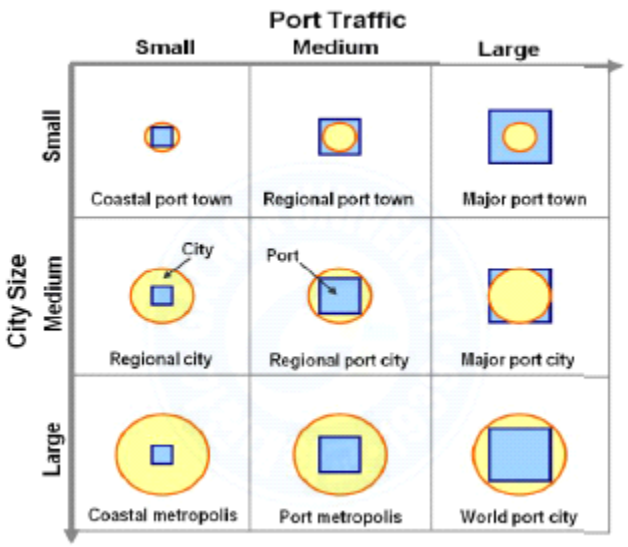
이에 본 장에서는 현재 스마트항만을 통해 도시가 발전하고 있는 항만도시들의 유형화, 속성 분석을 통해 항만도시의 스마트화를 위해 갖추어야 하는 요소, 기능 등을 해석하고자 한다.

1. 상대적집중도지수(RCI)에 따른 항만도시 유형화

1) 이론적 고찰

Ducruet(2001)는 항만도시를 항만물동량과 도시규모를 가지고 유형화했다. 항만물동량 규모와 도시의 물리적 크기를 기준으로 항만도시를 9개로 유형화했다. 세계적인 허브항만들은 항만물동량과 항만도시 규모가 모두 크기 때문에 〈그림 4-1〉의 우측 하단처럼 글로벌 항만도시(World Port City)로 분류되었다.

〈그림 4-1〉 항만물동량과 도시규모 변화에 따른 항만도시의 유형화



자료: Ducruet(2001), p. 31

Ducruet(2006)는 35년간(1970~2005년) 총 653개 지역을 대상으로 상대적집중도지수(RCI: Relative Cocentration Index) 분석을 통해 항만도시의 성장이 선형적으로 이뤄지는 것이 아니라 지역 요인에 의해 결정 난다는 것을 계산하여 네 가지 유형으로 도식화했다. 일반항만도시(General port cities)는 지역경제에서 항만기능의 중요성이 축소되어 가는 항만으로 도쿄항, 런던항이 여기에 해당된다. 허브항만도시(Hub port city)는 지역경제에서 항만 기능이 중요해 항만은 집중되어 있으나, 배후부지에 한계가 있는 경우로 리스본항 등이 여기에 해당된다. 배후지항만도시(hinterland port cities)는 지역경제에서 항만기능이 중요할 뿐만 아니라 방대한 항만배후지를 가지고 있는 경우로 르하브루항, 마르세이유항 등이 여기에 해당된다. 해양항만도시(maritime port cities)는 도시기능에 비해 항만기능이 떨어지는 경우로 앤트워프와 로테르담의 Maas delta 지역이 해당된다.

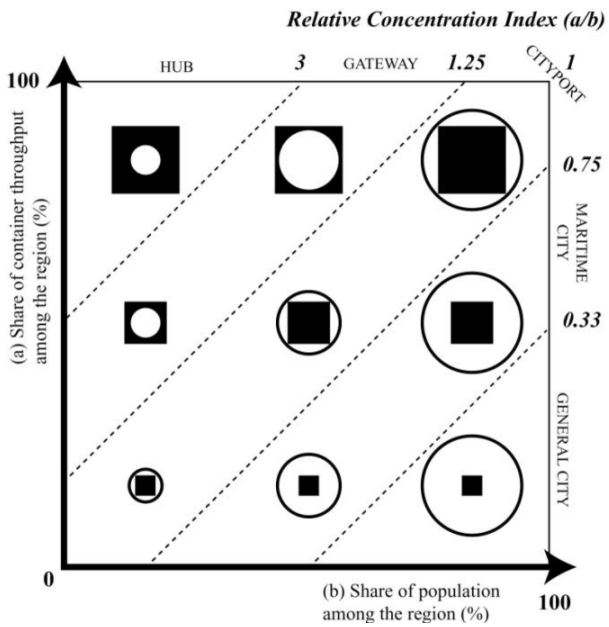
〈그림 4-2〉 RCI 기준 유럽과 아시아 항만도시의 네 가지 분류



자료: Ducruet(2006), p. 21

Ducruet & Lee(2006)의 연구에 따르면 상대적집중도지수(RCI) 값이 '1'의 값에 수렴(0.75~1.25)하면 항만과 도시가 균형을 이룬 도시항만(City Port)이고, 1.25 이상, 2.99 이하는 관문항만도시(Gateway)이고 3 이상은 허브항만도시(Hub)로 분류했다. 반대로 0.33에서 0.74까지는 해양도시(Maritime City)이고, 0.33 미만은 일반도시(General City)로 분류했다.[86]

〈그림 4-3〉 RCI에 따른 항만도시의 유형화



자료: Ducruet and Lee(2006), p. 117

2) RCI에 따른 물동량 상위 20대 항만도시 유형화

2019년 항만물동량 상위 100대 항만 중 20대 항만(LA, LB항 통합)의 지난 5년간 항만물동량의 연평균증가율은 닝보·저우산항, 광저우

86) Ducruet and Lee(2006), pp. 116-117.

항, 앤트워프항, 톈진항, 샤먼항, 로테르담항, 싱가포르항, 칭다오항, 상하이항, 포트클랑항이 평균(3.3%)을 상회하고 있다. 부산항 물동량은 평균에 근접한 연평균 3.1% 증가했다.

〈표 4-1〉 세계 20대 항만의 컨테이너 물동량

단위: 만TEU

순위	항만명	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR
1	상하이	3,654	3,713	4,023	4,201	4,303	4.2%
2	싱가포르	3,092	3,090	3,367	3,660	3,716	4.7%
3	닝보·저우산	2,062	2,156	2,461	2,635	2,753	7.5%
4	선전	2,420	2,398	2,521	2,574	2,577	1.6%
5	광저우	1,762	1,886	2,037	2,192	2,323	7.1%
6	부산	1,947	1,946	2,049	2,166	2,199	3.1%
7	칭다오	1,751	1,801	1,826	1,932	2,101	4.7%
8	홍콩	2,007	1,981	2,077	1,960	1,830	-2.3%
9	톈진	1,409	1,449	1,504	1,597	1,730	5.3%
10	LA·LB	1,535	1,563	1,689	1,755	1,696	2.5%
11	로테르담	1,223	1,239	1,373	1,451	1,481	4.9%
12	두바이	1,559	1,477	1,537	1,495	1,411	-2.5%
13	포트클랑	1,189	1,317	1,198	1,232	1,358	3.4%
14	앤트워프	965	1,004	1,045	1,110	1,186	5.3%
15	샤먼	918	961	1,038	1,070	1,112	4.9%
16	가오슝	1,026	1,046	1,027	1,045	1,042	0.4%
17	함부르크	882	891	882	873	928	1.3%
18	탄중펠레파스	912	803	826	896	907	-0.1%
19	다롄	945	958	971	977	876	-1.9%

주: 2019년 기준 항만물동량 순위, 100대 항만 중 LA, LB항을 합침

자료: lloydslist(2016~2018), Alphaliner(2020. 6, 검색일: 2020. 8. 1) 기반 저자 작성

20대 항만도시의 인구는 지난 5년간 연평균 1.8% 증가했고, 두바이, 닝보·저우산 항만도시가 연평균 4% 이상으로 인구수가 증가한 반면에 부산은 연평균 0.3% 인구수가 감소했다.

〈표 4-2〉 세계 20대 항만도시의 인구

단위: 천 명

순위	항만명	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR
1	상하이	23,482	24,163	24,862	25,582	26,317	2.9%
2	싱가포르	5,535	5,622	5,709	5,792	5,868	1.5%
3	닝보·저우산	3,391	3,527	3,668	3,815	3,966	4.0%
4	선전	11,275	11,483	11,693	11,908	12,129	1.8%
5	광저우	11,695	12,002	12,316	12,638	12,968	2.6%
6	부산	3,452	3,447	3,429	3,418	3,407	-0.3%
7	칭다오	5,041	5,152	5,265	5,381	5,499	2.2%
8	홍콩	7,246	7,303	7,365	7,429	7,491	0.8%
9	텐진	12,516	12,869	13,041	13,215	13,396	1.7%
10	LA·LB	12,345	12,383	12,420	12,458	12,448	0.2%
11	로테르담	1,006	1,007	1,007	1,008	1,009	0.1%
12	두바이	2,401	2,523	2,651	2,785	2,833	4.2%
13	포트클랑	6,178	6,292	6,381	6,475	6,506	1.3%
14	앤트워프	1,017	1,022	1,027	1,032	1,037	0.5%
15	샤먼	3,395	3,457	3,521	3,585	3,652	1.8%
16	가오슝	2,778	2,779	2,776	2,773	2,773	0.0%
17	함부르크	1,786	1,789	1,791	1,793	1,791	0.1%
18	탄중펠레파스	3,610	3,652	3,697	3,749	3,761	1.0%
19	다롄	4,849	4,995	5,145	5,300	5,459	3.0%

주: 2019년 기준 항만물동량 순위, 100대 항만 중 LA, LB항을 합침
자료: Worldbank, 말레이시아 통계국, Quandi(검색일: 2020. 8. 1) 기반 저자 작성

2019년 항만물동량 상위 100대 항만 중 20대 항만(LA, LB항 통합)의 물동량, 도시인구를 기준으로 지난 5년간(2015~2019년)의 상대적 집중도지수(RCI)를 계산했다.

RCI는 1979년 발레가(Vallega)에 의해 제안되었는데, 전체 지역의 항만처리량과 항만 관련 인구 비율로 정의된다. 그 식은 다음과 같으며, T_i는 i지역 항만물동량이고, P_i는 i지역 항만 관련 총인구, n은 항만도시 수를 지칭한다.

$$RCI = \left(\frac{T_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} \right) / \left(\frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \right)$$

RCI 값은 주로 특정 지역 항만과 도시의 상대적 규모를 나타내며, $RCI = 1$은 항만 크기와 도시규모가 비례함을 나타내고, $RCI \rightarrow 0$에 수렴하면 항만-도시 시스템에서 도시의 역할이 중요하고, $RCI \rightarrow \infty$에 가까워질수록 항만-도시 시스템에서 항만의 역할이 중요하다.[87]

지난 5년간 RCI를 분석한 결과, 싱가포르항, 닝보·저우산항, 부산항, 로테르담항, 앤트워프항, 함부르크항은 RCI 점수를 반올림할 경우 2점 이상이면서 값이 증가하고 있다. 이들 항만은 대부분 대표 스마트항만이고, 최근 닝보·저우산항은 5G 등 디지털 기술을 활용해 항만을 스마트항만으로 업데이트하고 있다.[88]

〈표 4-3〉 세계 20대 항만의 RCI 지수 비교

구분	항만명	2015	2016	2017	2018	2019	증감
1	상하이	0.61	0.61	0.62	0.58	0.61	→
2	싱가포르	2.20	2.18	2.25	2.25	2.36	+
3	닝보·저우산	2.39	2.42	2.56	2.45	2.59	+
4	선전	0.84	0.83	0.82	0.77	0.79	-
5	광저우	0.59	0.62	0.63	0.62	0.67	+
6	부산	2.22	2.24	2.28	2.25	2.40	+
7	칭다오	1.37	1.38	1.32	1.28	1.42	+
8	홍콩	1.09	1.07	1.08	0.94	0.91	-
9	텐진	0.44	0.45	0.44	0.43	0.48	+
10	LA·LB	0.49	0.50	0.52	1.01	0.51	+
11	로테르담	4.79	4.87	5.21	5.12	5.47	+
12	두바이	2.56	2.32	2.21	1.91	1.85	-

87) Jianke Guo *et al.*(2020), p. 4.
88) https://www.hellenicshippingnews.com/china-mobile-ningbo-zhejiangs-5g-smart-port/(검색일: 2020. 8. 20)

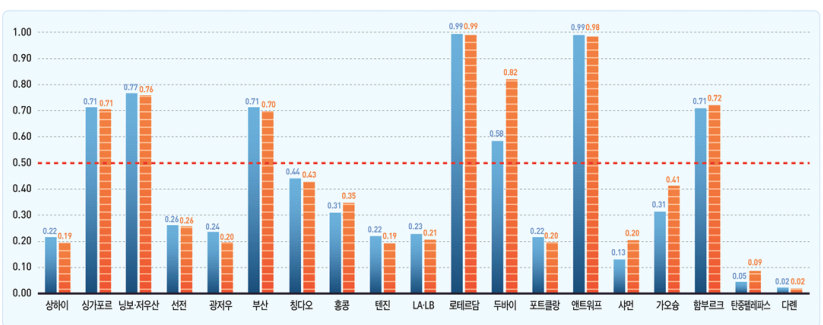
구분	항만명	2015	2016	2017	2018	2019	증감
13	포트클랑	0.76	0.83	0.72	0.68	0.78	→
14	앤트워프	3.73	3.89	3.89	3.82	4.26	+
15	샤먼	1.06	1.10	1.13	1.06	1.13	+
16	가오슝	1.45	1.49	1.41	1.34	1.40	-
17	함부르크	1.94	1.97	1.88	1.73	1.93	+
18	탄중펠레파스	0.99	0.87	0.85	0.85	0.90	-
19	다롄	0.77	0.76	0.72	0.66	0.60	-

자료: 저자 작성

RCI(2019), RCI(2015)의 값을 0~1 사이로 정규화한 후 0.5 이상인 항만을 추출하면, 로테르담항, 앤드워프항의 값이 월등히 높고, 닝보·저우산항, 싱가포르항, 부산항, 함부르크항이 비슷한 값을 유지하고 있고, 두바이항은 2015년에 비해 값이 떨어지고 있다.

RCI 값을 기반으로 스마트 항만도시로 항만기능이 강화되고 있는 항만은 로테르담항, 앤트워프항, 닝보·저우산항, 부산항, 싱가포르항, 함부르크항이다. 특히 최근 스마트항만뿐만 아니라 스마트시티 투자가 많은 앤트워프의 경우, Ducruet(2006) 연구에서 도시기능에 비해 항만기능이 떨어졌으나, 현재는 항만기능이 강화되었다.

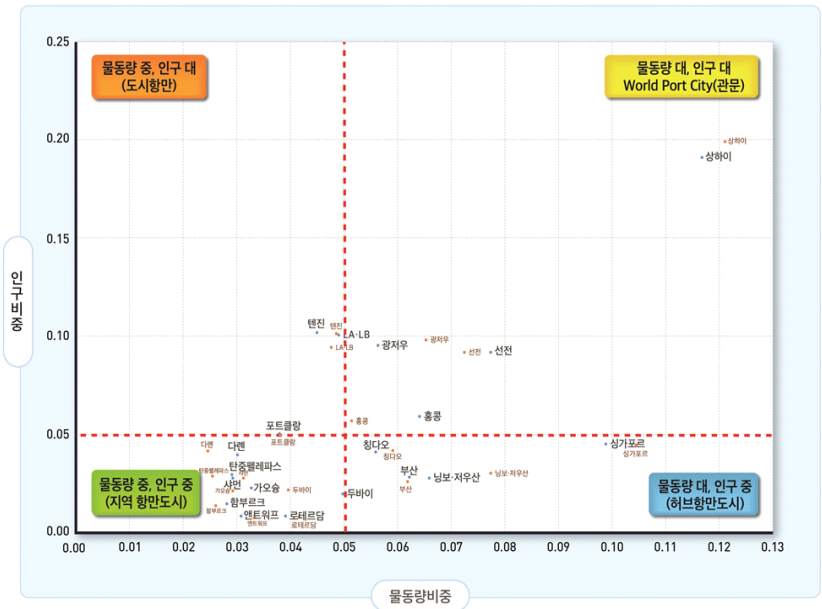
〈그림 4-4〉 RCI 기준 스마트항만



주: 첫 번째 값(2019), 두 번째 값(2015)
자료: 저자 작성

스마트 항만도시를 물동량 비중과 인구비중으로 분류해보면, 항만도시의 유형이 글로벌 대표항만도시, 허브항만도시, 지역중심 항만도시, 도시기능이 강한 항만도시로 분류된다. 예를 들면, 상하이항, 광저우항, 선전항, 홍콩항은 물동량과 인구비중이 모두 높은 대표적인 글로벌 항만도시이고, 텐진항, LA·LB항은 상대적으로 도시기능이 강한 항만이며, 유럽 주요 항만, 다롄항, 탄중펠라파스항, 두바이항 등은 해당 지역의 중심항만으로 분류된다. 부산항, 칭다오항, 닝보·저우산항, 싱가포르항은 허브항만도시로 분류된다. RCI 기준 6개 스마트 항만도시를 살펴보면 싱가포르항, 닝보·저우산항, 부산항은 허브항만도시이고, 로테르담항, 앤트워프항, 함부르크항은 유럽 지역 중심의 항만도시로 분류된다.

〈그림 4-5〉 물동량과 인구비중에 따른 항만도시 유형 분류



자료: 저자 작성

2. 입지계수(LQ)에 따른 스마트 항만도시 유형화

1) 우리나라의 스마트 항만도시 수준

입지계수(LQ: Location Quotient)는 1960년 Isard에 의해 제안된 방법으로 특정 산업의 지역 특화 정도를 판단하는 기준이다. LQ 식은 다음 식으로 표현이 가능하다.

$$LQ_i = \frac{e_i/e_t}{E_i/E_t}$$

식에서 e_i는 비교 대상지역 i산업 종사자 수이고, e_t는 비교 대상 지역 총 종사자 수이며, E_i는 해당 국가 i산업 종사자 수이고, E_t는 해당 국가 총 종사자 수이다. $LQ > 1$이면 비교 대상지역의 i산업의 특화도가 타 지역보다 높다는 것을 의미하며 해당 지역의 주력산업에 해당된다. $LQ = 1$이면 전국 평균과 유사한 수준이라는 것이고, $LQ < 1$이면 비교 대상지역의 i산업의 특화도가 타 지역보다 낮다는 것을 의미하며, 지역경제에 미치는 영향도가 낮음을 알 수 있다.

항만도시의 항만산업 특화도를 조사한 후 스마트산업을 대표하는 데이터 산업을 포함했을 경우의 입지계수 특화도 변화를 살펴봐서 해당 항만도시가 항만도시인지 스마트 항만도시인지를 분류한다. 우리나라뿐만 아니라 전 세계 항만도시의 항만산업과 스마트항만산업의 특화 정도를 비교하기 위해 국제표준산업분류(SIC: Standard Industrial Classification)를 활용한다. 전통적으로 항만산업은 표준산업분류 기준 5디지트(digit) 기준으로 했을 때 수상화물취급업 등 12개 분야가 해당된다.

〈표 4-4〉 표준산업분류기준 항만산업(5디지트 기준)

코드	코드명	설명
50130	기타해상운송업	• 해상 예인선 운영, 승무원이 동승하는 해수면 오락용 낚시배 운영 등이 포함됨(단, 항만 내 여객 및 화물운송, 내륙수로상의 예인선 운영, 조난선의 구조 및 예인은 제외) • 원양선이 항만에서 부두시설에 접이안하는 작업을 보조하는 업무
50202	항만 내 여객 운송업	• 항만 내에서 선박에 의하여 여객을 운송하는 산업 활동(예: 항만 내 유람선업, 항만 내 여객 운송) • 카페리 등의 항만 내 운송업무
50209	기타 내륙수상운송업	• 기타 내륙 수상 운송업을 수행하는 산업활동(예: 내륙 수상 예인성 운영, 승무원이 동승하는 내수면 오락용 낚시배 운영)
52921	항구 및 기타해상터미널 운영업	• 항구, 부두, 도크, 잔교 및 해상 터미널 등을 운영하는 산업활동(예: 항만시설 운영, 해상 터미널시설 운영) • 기타 항만 부대시설에 대한 운영 업무
52929	기타 수상운송지원 서비스업	• 선박이 항구를 입·출항하거나, 정해진 구역(도선구)에서 이동 시 선박을 안내하는 산업활동 등 기타 수송 운송 지원 서비스를 제공하는 산업활동(예: 도선서비스, 수로 안내 및 정박 서비스, 등대 운영, 수로·갑문 운영, 운하 운영, 선박의 경상적 점검·유지·수리, 항해 조력 서비스, 선박 구난 및 인양서비스) • 선박 통항을 지원하는 서비스
52942	수상화물취급업	• 항구 내에서 선박과 부두, 선박과 선박 간에 직접 화물을 운반하여 이를 선적 또는 하역하는 산업활동(수상화물하역, 항만 내 화물 취급업, 항만 내 화물 운송, 항만 내 바지선 임대) • 항만운송사업법 상에 항만하역업과 유사
52993	화물포장, 검수 및 계량 서비스업	• 운송 물품의 보호를 위하여 운송 화물을 포장하거나 운송 화물을 검수, 계량하는 산업활동을 말함(예: 화물포장, 화물 계량, 화물 검수, 선적 화물 포장)
52101	일반창고업	• 온도 조절장치 등 물품 보존에 필요한 특수한 시설 없이 보통 상온에서 보존이 가능한 물품을 보관하는 산업활동(예: 보통 창고 운영, 일반 물품 보세창고 운영)
52102	냉장 및 냉동창고업	• 상온에서 부패될 수 있는 물품을 보관하기 위하여 인공적으로 저온을 유지하여 물품을 보관하는 산업활동을 말하며, 이 사업체는 창고내에 급속 냉동 시설을 보유할 수 있음(예: 냉장 창고 운영, 냉동 물품 보관, 얼음 보관소 운영, 냉동 모피 보관, 냉동 식품 보관, 냉장·냉동 농산물 보관 등)

코드	코드명	설명
52103	농산물 창고업	• 미포장 벌크 상태 또는 포장된 농산물을 냉장·냉동 이외의 방법으로 보관하는 산업활동(예: 곡물창고)
52109	위험물품 보관업	• 특별한 안전 유지가 요구되는 발화성 또는 인화성 물질 등을 보관하는 산업활동(예: 가스성 화물 보관소, 액체 인화물 보관소, 화학 물질 창고 운영, 위험물 창고 운영, 가스 포장 화물 창고 운영, 미포장 벌크 상태의 석유 및 가스 보관)
52109	기타 보관 및 창고업	• 기타 물품을 보관하는 산업활동(예: 목재 하치장 운영, 냉장·냉동 이외 특수 처리를 필요로 하는 주류 보관 창고 운영, 수면 목재 창고 운영, 차량 보관소 운영)

자료: 통계청(2017); 하태영 외(2017), pp. 45-84 기반 저자 작성

서동혁 외(2018)[89]의 4차 산업혁명 관련 산업분류체계 연구내용을 기준으로 했을 때, 스마트항만이 발전함에 따라 데이터 관련 산업의 고용자 수가 증가할 것으로 예상된다.

〈표 4-5〉 표준산업분류기준 데이터산업(5디지트 기준)

코드	코드명	설명
58221	시스템소프트웨어 개발 및 공급	• 하드웨어에 설치되는 응용 소프트웨어를 작동시키는 소프트웨어를 개발공급하는 산업활동 • 운영체제개발, 시스템 관리, 보안프로그램, 유틸리티 S/W 개발 등
58222	응용소프트웨어 개발 및 공급	• 컴퓨터, 모바일용 응용 소프트웨어를 개발, 공급하는 산업활동 • 통계처리 프로그램, ERP, 사무용·회계용 소프트웨어 개발
62010	컴퓨터프로그래밍 서비스	• 기타 내륙 수상 운송업을 수행하는 산업활동(예: 내륙 수상 예인성 운영, 승무원이 동승하는 내수면 오락용 낚시배 운영)
62021	컴퓨터시스템 통합자문 및 구축서비스	• 컴퓨터시스템 기획, 설계, H/W·S/W 개발·판매, 이용자 훈련을 하는 산업활동 • 시스템 통합설계 및 구축, 사무자동화 및 정보관리 컴퓨터시스템 통합설계

89) 서동혁 외(2018.12.24.), p.98.

코드	코드명	설명
62090	기타정보기술 및 컴퓨터 운영 관련 서비스	• 컴퓨터 시스템에 관련한 전문적, 기술적 서비스를 제공하는 산업활동 • 컴퓨터 장애복구, 컴퓨터 및 소프트웨어 설치
63111	자료처리업	• 전산자료 처리 서비스를 제공하는 산업활동 • 자료입력처리, OMR·OCR 자료처리, 자료 스캐닝, 자료 전환 서비스
63112	호스팅 및 관련 서비스	• 웹·서브 호스팅 서비스, 코로케이션 서비스, 스트리밍 서비스 등의 호스팅 서비스를 제공하는 산업활동 • 웹호스팅, 서브 호스팅, IDC센터, 코로케이션 서비스
63120	포털 및 기타 인터넷 정보 매개서비스	• 인터넷, 커뮤니티, 블로그, 전자메일 등을 통해 디지털화된 다양한 정보를 매개하는 산업활동 • 포털서비스, 인터넷 정보 매개 서비스
63991	데이터베이스 및 온라인 정보제공	• 1차 자료를 수집하여 주문에 따라 온라인, 디스켓 등의 전자매체로 제공하는 산업활동 • 영상·음악 파일 다운로드, 학습정보 온라인, 전자책 온라인 서비스
63999	그 외 기타 정보서비스	• 정보를 제공하는 기타 서비스 활동 • 텍스트 음성변환 서비스

자료: 통계청(2017), 『한국표준산업분류』; 서동혁 외(2018. 12. 24), p. 98 기반 저자 작성

한국표준산업분류 10차 개정안을 기반으로 세세분류(5자리)상의 항만산업과 데이터산업을 가지고 우리나라를 대표하는 부산, 인천, 광양(전남)의 LQ값을 계산한다.

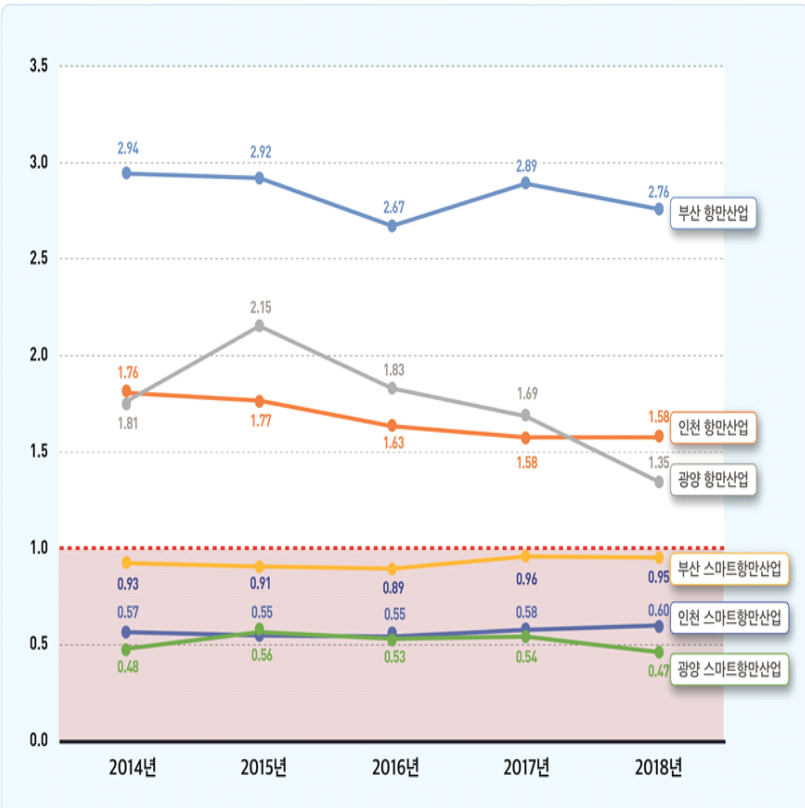
〈표 4-6〉 우리나라 주요 항만도시의 항만산업 및 데이터산업 고용자 수

구분	전국					부산					인천					전남				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
기타해상운송업	1,609	1,992	2,220	2,286	2,373	393	490	540	551	593	280	336	398	399	368	192	249	275	309	308
항만 내 여객 운송업	1,299	2,284	956	908	717	199	467	246	210	73	138	120	25	21	21	268	611	98	76	84
기타 내륙수상운송업	72	61	51	84	87	0	0	0	4	0	0	0	14	16	9	30	0	0	0	0
항구 및 기타해상터미널 운영업	39,427	38,107	47144	47714	55706	975	1,294	1,185	1,117	1,301	2,922	2,680	2,771	2,704	3,361	591	741	717	642	555
기타 수상운송지원 서비스업	8,644	9,094	9263	9675	10593	1,405	1,404	1,487	1,473	1,422	226	406	376	399	439	643	478	516	517	561
수상화물취급업	1,290	1,407	1,229	1,113	1,228	9	8	17	15	9	39	34	51	54	80	189	203	195	175	181
화물포장, 검수 및 계량 서비스업	1,842	2,340	2,115	2,112	2,172	118	137	103	106	107	239	213	229	217	245	245	195	231	225	245
일반창고업	2,603	3,529	3,127	3,495	3,719	314	364	403	411	196	482	369	395	497	625	29	390	160	183	213
냉장 및 냉동창고업	1,521	2,358	2,298	2,391	3,799	758	1,047	999	1,000	2,325	389	586	593	692	674	0	369	359	359	346
농산물 창고업	8,364	8,202	7,906	8,583	9,092	6,358	5,722	5,644	6,205	6,702	312	565	318	358	357	620	783	745	811	736
위험물품 보관업	11,660	12,041	11879	13494	12579	4,424	4,308	4,476	5,852	4,953	1,651	1,627	1,695	1,604	1,634	1,661	1,549	1,838	1,561	1,047
기타 보관 및 창고업	6,311	6,984	6,822	6,809	7,132	1,639	1,721	1,707	1,835	1,865	481	423	465	474	482	453	721	541	592	580
시스템 소프트웨어 개발 및 공급업	78,290	84,023	83678	82845	90288	1,020	1,055	1,189	1,253	1,365	434	385	426	1,087	1,440	114	178	338	465	424
응용 소프트웨어 개발 및 공급업	55,558	57,438	62926	68049	73291	1,351	1,558	1,763	1,998	2,193	503	647	803	1,020	1,155	143	154	164	172	231
컴퓨터 프로그래밍 서비스업	32,582	34,600	34964	35340	33874	1,559	1,583	1,713	1,597	1,617	474	474	627	705	576	314	324	355	348	285
컴퓨터시스템 통합 자문 및 구축 서비스업	61,189	70,302	65481	65709	69209	678	894	909	896	925	299	311	275	313	381	12	38	56	44	58
기타 정보기술 및 컴퓨터운영 관련 서비스업	5,261	5,544	6,067	6,841	6,604	206	170	213	249	255	186	256	62	68	79	35	47	139	61	77
자료 처리업	2,635	2,892	2,903	2,696	2,944	60	42	70	46	48	17	0	0	30	48	0	0	0	0	18
호스팅 및 관련 서비스업	3,409	3,500	3,816	4,002	3,228	48	39	46	41	36	58	69	64	74	79	0	0	0	0	0
포털 및 기타 인터넷 정보매개 서비스업	17,934	20,500	20357	20835	21963	111	182	216	203	300	107	120	290	96	102	58	54	56	541	611
데이터베이스 및 온라인정보 제공업	12,432	12,721	13681	14147	16542	210	222	181	208	231	178	191	175	194	244	14	9	0	9	21
그 외 기타 정보 서비스업	369	366	1,185	1,125	1,497	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

자료: 통계청, 『전국 사업체 조사』(검색일: 2020. 8. 12) 기반 저자 작성

부산, 인천, 광양(전남) 모두 항만산업의 LQ 지수는 1보다 높으나, 데이터산업이 포함된 스마트항만산업의 LQ 지수는 1보다 낮아 해당 도시 집중도가 떨어진다. 예를 들면 부산은 2018년 항만산업의 LQ값이 2.76으로 부산 경제를 주도하고 있으나, 스마트항만산업의 LQ값은 0.95로 부산의 특화산업이 아닌 것으로 나타난다. 즉 부산은 항만도시이나, 아직 스마트 항만도시로는 도약하지 못한 것으로 판단된다.

〈그림 4-6〉 우리나라 항만도시의 LQ 지수 변화



자료: 저자 작성

2) 우리나라와 글로벌 주요 항만도시의 스마트화 수준 비교

글로벌 항만도시의 LQ 지수 기반 스마트화 수준을 분석하기 위해 국제표준산업분류에서 부산, 인천, 광양(전남)의 5디지트 수준으로 항만산업과 데이터산업을 분석하고자 했으나, 도시별 고용은 2디지트 수준으로 제공되어 상호 비교는 2디지트 기준으로 분석했다.

〈표 4-7〉 표준산업분류기준 항만산업과 데이터산업(2디지트 기준)

구분	코드	코드명
항만산업	50	• Water transport • 수상운송업
	52	• Warehousing and support activities for transportation • 창고 및 운송 관련 서비스업
데이터산업	58	• Publishing activities • 출판업
	62	• Computer programming, consultancy and related activities • 컴퓨터프로그래밍, 시스템통합 및 관리업
	63	• Information service activities • 정보서비스업

자료: 통계청(2017), 『한국표준산업분류』 기반 저자 작성

데이터가 수집된 유럽 항만도시와 우리나라 항만도시의 항만산업과 스마트항만산업의 특화지수인 LQ 지수를 계산하기 위해 도시별, 국가별 고용인원 수를 구했다. 항만산업의 고용인원은 H50, H52에 해당하는 산업 종사자이고, 스마트항만산업의 고용인원은 항만산업(H50, H52)과 데이터산업(J58, J62, J63) 종사자 수로 계산했다.

〈표 4-8〉 유럽과 한국의 항만산업과 데이터산업 고용자 수

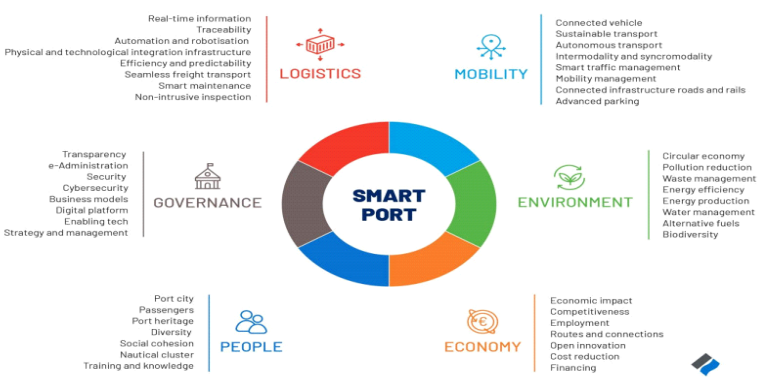
국가	도시명	전체 산업			항만산업			데이터산업		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
네덜란드	네덜란드	8,115,500	8,223,400	8,376,400	112,866	114,945	119,215	223,277	233,120	244,955
	로테르담	1,693,500	1,715,300	1,755,400	40,212	40,062	40,987	42,944	44,814	47,418
독일	독일	39,175,900	40,165,100	40,481,600	720,038	785,218	805,233	971,812	1,007,142	1,072,470
	함부르크	893,000	917,500	939,500	57,270	57,235	59,984	50,545	54,660	57,977
벨기에	벨기에	4,499,300	4,540,600	4,587,200	57,197	57,999	59,765	88,479	93,635	98,780
	앤트워프	760,300	750,800	767,100	23,184	22,645	23,009	19,180	20,396	22,544
스페인	스페인	17,717,500	18,182,700	18,648,500	224,105	227,031	237,803	310,884	331,801	351,012
	바르셀로나	3,051,400	3,159,100	3,245,300	47,160	46,389	48,979	63,285	69,987	75,949
	발렌시아	1,859,900	1,913,100	1,972,900	23,623	25,180	25,737	17,503	18,001	20,261
	알헤시라스	2,746,500	2,812,400	2,923,700	25,450	26,033	26,849	22,094	24,794	27,009
그리스	그리스	3,548,000	3,610,300	3,682,700	61,080	59,391	61,283	41,475	41,394	41,616
	피레우스	1,320,400	1,345,500	1,349,700	46,094	44,774	46,383	30,934	30,566	31,463
이탈리아	이탈리아	21,972,600	22,241,100	22,443,600	394,123	407,873	425,991	407,134	427,983	437,948
	제노아	594,100	592,000	585,600	49,157	50,056	49,605	8,402	8,345	8,709
한국	한국	4,619,458	4,675,701	4,719,864	275,192	282,690	285,435	396,719	398,762	404,980
	부산	354,253	356,459	361,435	43,919	43,892	45,186	7,821	8,439	8,648
	인천	229,397	231,622	234,292	26,499	27,168	26,736	3,397	3,719	4,574
	전남	115,648	115,814	119,622	13,109	12,213	12,202	1,361	1,733	2,285

자료: 각국 통계청 기반 저자 작성

각국의 항만산업, 데이터산업의 고용자 수를 기준으로 LQ 계수를 구하면 스마트항만산업이 특화된 항만도시는 2017년 기준 함부르크, 제노아, 피레우스, 앤트워프, 로테르담, 바르셀로나 순이다.

이탈리아 제노아항은 철도화물 흐름을 최적화할 목적으로 EU 펀드를 받아 디지털 연계 프로젝트인 E-Bridge의 결과물로 철도 등 항만커뮤니티 운영자 간 실시간 정보 및 데이터 교환을 위한 IT 플랫폼을 개발하는 등 항만의 스마트화를 위해서 노력하고 있다.[90] 또한 그리스 피레우스항은 흑해를 통해 아시아와 러시아로 가는 주요 관문항으로 글로벌 자동차 무역의 디지털화를 위한 투자를 하고 있고, 2019년 물동량 기준 유럽에서 4위를 차지하는 등 동유럽 접근을 위한 주요 항만으로 등극하고 있다.[91] 스페인의 바르셀로나항은 모빌리티, 환경, 경제, 사람, 제도, 물류 등 여섯 가지 측면의 스마트항만 정책을 수립·추진하고 있다.[92]

〈그림 4-7〉 바르셀로나항의 스마트항만 정책 및 기술 비전



자료: Portalcip(검색일: 2020. 8. 20)

90) portofgenoa(게시일: 2020. 7. 31, 검색일: 2020. 8. 3)
91) porttechnology(게시일: 2020. 5. 20, 검색일: 2020. 8. 3); cyprusshippingnews(게시일: 2020. 8. 21, 검색일: 2020. 8. 22)
92) portdebarcelona(게시일: 2019. 7. 2, 검색일: 2020. 8. 20)

이러한 이유로 제노아, 피레우스, 바르셀로나 항만도시의 스마트항만산업 특화지수가 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 그런데 유럽 항만도시와 달리 우리나라의 부산, 인천, 전남(광양)은 항만산업에서는 특화되어 있으나, 스마트항만산업 측면에서는 특화되어 있지 않은 것으로 나타났다.

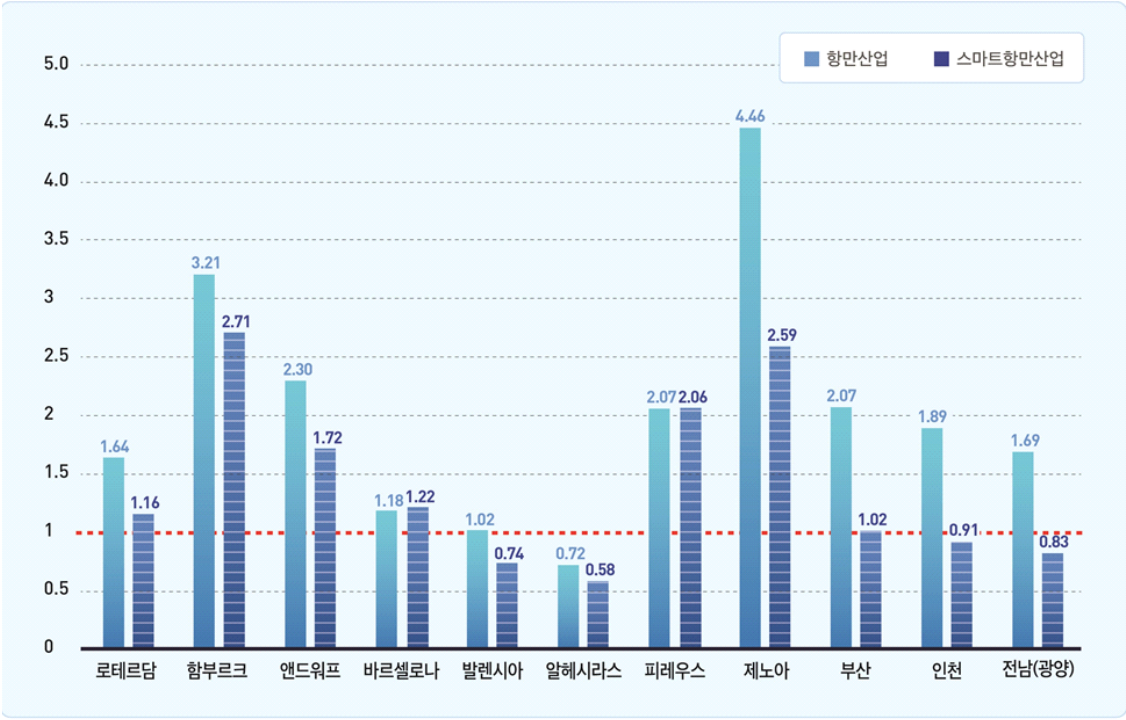
〈표 4-9〉 유럽과 한국 항만도시의 항만산업 및 스마트항만산업 LQ 지수

국가명	도시명	항만산업			스마트항만산업			스마트 항만산업 특화
		2015	2016	2017	2015	2016	2017	
네덜란드	로테르담	1.71	1.67	1.64	1.19	1.17	1.16	+
독일	함부르크	3.49	3.19	3.21	2.80	2.73	2.71	+
벨기에	앤트워프	2.40	2.36	2.30	1.72	1.72	1.72	+
스페인	바르셀로나	1.22	1.18	1.18	1.20	1.20	1.22	+
스페인	발렌시아	1.00	1.05	1.02	0.73	0.73	0.74	-
스페인	알헤시라스	0.73	0.74	0.72	0.57	0.59	0.58	-
그리스	피레우스	2.03	2.02	2.07	2.02	2.01	2.06	+
이탈리아	제노아	4.61	4.61	4.46	2.66	2.62	2.59	+
한국	부산	2.08	2.04	2.07	1.00	1.01	1.02	0
한국	인천	1.94	1.94	1.89	0.90	0.91	0.91	-
한국	전남	1.90	1.74	1.69	0.86	0.83	0.83	-

자료: 저자 작성

2017년 기준으로 우리나라 항만도시와 유럽 항만도시의 항만산업과 스마트항만산업에 대한 LQ 지수를 비교한 결과, 스마트 항만도시로서 특화된 항만도시는 함부르크항으로 나타났다. 우리나라 부산, 인천, 광양(전남) 항만도시는 항만산업 특화 측면에서는 로테드담 항만도시보다 높은 경향을 보였으나 데이터산업을 포함한 스마트항만산업의 LQ 지수가 1 이하로 시장을 주도하고 있지 않은 것으로 판단된다. 디지털 시대에 우리나라의 항만과 도시가 상생하면서 발전하기 위해서는 데이터산업 인력 육성정책을 마련해야 한다.

〈그림 4-8〉 우리나라와 유럽 항만도시의 스마트 항만도시 특화수준 비교



자료: 저자 작성

제2절 스마트 항만도시 구성요소 정의

1. 스마트 항만도시 구성요소 추출 방법

기존 연구에서 스마트항만, 스마트시티, 항만도시에 대한 개념 설정을 한 바 있지만, 스마트 항만도시는 새로운 개념이다. 이에 스마트 항만도시를 정의하기 위해서는 이를 대표할 수 있는 구성요소(속성)들을 추출하는 것이 중요하다. 또한 해당 속성들이 스마트 항만도시를 나타내는 지수인지 확인하기 위해서는 현재 항만도시 중 스마트화를 통한 물류 경쟁력 성과를 나타내는지 살펴보아야 한다. 이에 항만간, 국가간 경쟁력 혹은 물류성과 등을 비교한 지수들을 조사했다. 여기에 해당하는 지수로 세계경제포럼(WEF)에서 제공하는 국가경쟁력지수(Global Competitiveness Index 4.0), 세계은행(World Bank)이 제공하는 물류성능지수(LPI: Logistics Performance Index), 세계 100대 항만의 컨테이너 물동량과 자동화 여부[93] 등에 대한 기초자료를 수집했다. WEF의 국가경쟁력지수는 기본환경, 인적자원, 시장, 혁신생태계 등 4개 대분류에 대한 제도, 인프라, ICT 보급 등의 12개 인자를 가지고 141개국을 평가한다. 국가경쟁력지수 보고서의 목적은 4차 산업혁명 시대 정책입안자, 글로벌 비즈니스 리더, 기타 이해관계자들이 지속가능한 경제전략을 수립하는 데 도움을 주기 위한 것이다.[94] 국가경쟁력지수가 높다는 것은 스마트시대 글로벌 무역을 하기에 좋은 환경인 인적자원의 역량, 제도적인 디지털 지원 능력, 물류 인프라 및 기능의 연계성 등이 타 국가보다 우수하다는

93) lloydslist(검색일: 2020.8.1.); UNCTAD, Review of Maritime Transport 2018, p.79; MACGREGOR, Container terminal automation & inttelligent cargo handling, 2018.4., p.5.
94) World Economic Forum, *The Global Competitiveness Report 2019,* p. 5.

것이다. 이에 국가경쟁력지수는 항만도시가 있는 국가의 스마트시대 지속가능한 경제성장, 무역거래를 나타내므로 스마트 항만도시의 경쟁력 지수로 사용 가능할 것으로 판단된다. 국가경쟁력지수(2019년)는 141개국 중 싱가포르(1위), 미국(2위), 홍콩(3위), 네덜란드(4위), 스위스(5위), 일본(6위), 독일(7위) 등의 순이고, 우리나라가 13위, 중국이 23위를 차지하고 있다. 주요 항만도시가 위치하고 스마트항만으로 성과를 내고 있는 국가들의 등수가 높은 편이다.

〈표 4-10〉 국가경쟁력지수 4.0의 12개 분야

대분류	중분류(12개 분야)	설명
기본환경 (Enabling Environment)	제도(Institutions)	• 보안, 디지털 신산업 관련 법, 에너지 효율성 규제, 국토 관리질, 미래 정부정책 등
	인프라(Infrastructure)	• 도로, 공항, 철도, 해상운송, 전력공급망 연결성
	ICT 보급(ICT Adoption)	• 광케이블 인터넷 가입자, 인터넷·이동통신 사용자 수
	거시경제 안전성 (Macroeconomic stability)	• 물가상승률, 공공 부채 지속가능성
인적자원 (Human Capital)	보건(Health)	• 건강 기대수명
	기술(Skills)	• 직업훈련 질적 수준, 국민 디지털 활용도, 숙련자 구인 용이성 등
시장(Market)	생산시장(Product Market)	• 무역장벽, 관세율, 통관절차 효율성
	노동시장(Labor Market)	• 노사협력, 임금결정 유연성, 전문경영 신뢰도, 외국인 노동자 고용 용이성 등
	금융시스템(Financial System)	• 재원조달 용이성, 시가 총액 등
	시장규모(Market Size)	• GDP(PPP)
혁신생태계 (Innovation Ecosystem)	기업활력 (Business Dynamism)	• 창업준비, 혁신기업 성장, 창조 아이디어 수용
	혁신역량 (Innovation Capability)	• 인력 다양성, 클러스터 개발, 다수 이행관계자 협력

자료: WEF(2019)

세계은행이 발표하는 물류성과지수(LPI)는 통관 용이성(Customs), 기반시설(Infrastructure), 국제운송(Global Shipments), 물류서비스 품질(Quality Logistics Services), 정시성(Timeliness) 등 여섯 가지 분야에 대해서 5점 척도로 평가한 결과값이다. 물류성과지수는 항만도시 등이 위치한 국가의 물류 경쟁력을 나타낸다. 2018년 물류성과지수는 연결경쟁력(Connecting to Compete)으로 스마트, 디지털 물류 경쟁력 지수로 적합하다. 물류성과지수(2018년)는 160개국 중 독일(1위), 스웨덴(2위), 벨기에(3위), 호주(4위), 일본(5위), 네덜란드(6위), 싱가포르(7위) 순이며, 우리나라는 25위, 중국은 26위를 차지했다.

또한 스마트 항만도시의 항만으로서의 방향을 설정하기 위해서는 항만물동량 순위, 자동화 여부와 관계가 있는지도 평가하는 것이 필요하다. 이에 100대 항만이 속한 도시(국가), 국가경쟁력지수 평가 대상 국가, 물류성과지수 국가의 교집합 국가를 추출한 결과 총 46개국이 선정되었다. 46개국을 대상으로 물류성과지수, 국가경쟁력지수, 100대 항만물동량, 자동화 여부 등을 표시한 후, 스마트 항만도시를 대표하는 y값을 정의하고, 영향을 주는 x값을 독립변수로 설정하여 상관분석과 회귀분석 등을 통해 설명력이 있는 주요 인자들을 추출한다.

스마트 항만도시가 추구하는 궁극적인 지향점은 디지털 기반 항만-도시 간 물류 효율화를 통해 대외적으로 수출입 물류서비스를 제고함으로써 항만도시의 경제가 지속적으로 발전할 수 있도록 하는 것이다. 그러므로 스마트 항만도시의 물류 효율성 모습을 가장 잘 나타낸 인자가 물류성과지수(Overall LPI)이므로 이 값을 y값으로 설정했다. x값은 국가경쟁력지수 12개, 항만물동량 1개, 자동화 여부 1개 등 총 14개의 x값을 설정했다.

스마트 항만도시와 관련된 변수를 추출하기 위한 데이터 집합은 총 46(국가명)×15($y_{LPI,} x_1 \sim x_{14}$) 매트릭스로 구성된다.

〈표 4-11〉 스마트항만 구성요소 추출을 위한 데이터

국가명	대표 항만명	LPI	Institutions	Infrastructure	ICT Adoption	Macroeconomic Stability	Health	Skills	Product Market	Labour Market	Financial System	Market Size	Business Dynamism	Innovation Capability	Port Throughput	Automatic Port
Argentina	Buenos Aires	2.89	50	68	58	34	84	72	47	52	53	69	58	42	1797955	0
Australia	Melbourne	3.75	73	79	74	100	95	81	71	69	86	73	75	70	3018671	1
Bangladesh	Chittagong	2.58	46	51	39	73	72	46	47	51	52	67	50	31	2903996	0
Belgium	Antwerp	4.04	69	87	67	100	93	79	63	64	79	69	74	71	11100000	1
Brazil	Santos	2.99	48	65	58	69	79	56	46	53	65	81	60	49	4122243	0
Canada	Vancouver	3.73	74	81	70	100	95	81	64	75	87	77	77	74	3396449	0
Chile	San Antonio	3.32	64	76	63	100	90	70	68	63	82	63	65	42	1660832	0
China	Shanghai	3.61	57	78	78	99	88	64	58	59	75	100	66	65	42010200	1
Colombia	Cartagena	2.94	49	64	50	90	95	60	53	59	65	67	64	36	2876723	0
Ecuador	Guayaquil	2.88	48	69	48	74	85	61	43	52	56	54	46	33	2064300	0
Egypt, Arab Rep.	Port Said	2.82	51	73	41	45	65	54	51	49	56	74	56	40	3050000	0
France	Le Havre	3.84	70	90	74	100	99	72	62	63	86	82	71	77	2875281	0
Germany	Hamburg	4.20	72	90	70	100	92	84	68	73	79	86	80	87	8730000	1
Greece	Piraeus	3.20	51	78	65	75	94	70	54	53	49	60	59	45	4907708	0
India	Jawaharlal Nehru	3.18	57	68	32	90	61	50	50	54	69	94	60	51	5133274	0
Indonesia	Tanjung Priok	3.15	58	68	55	90	71	64	58	58	64	82	70	38	7800000	0
Iran, Islamic Rep.	Bandar Abbas	2.85	43	65	51	52	80	58	42	41	48	74	44	38	2021542	0
Italy	Genoa	3.74	59	84	64	85	100	70	62	57	68	79	66	66	2674404	0
Jamaica	Kingston	2.52	49	63	48	70	80	63	52	67	67	36	68	35	1830000	0
Japan	Tokyo	4.03	72	93	86	95	100	73	70	72	86	87	75	78	4570000	1
Korea, Rep.	Busan	3.61	66	92	93	100	99	74	56	63	84	79	70	79	21663000	1
Malaysia	Port Klang	3.22	69	78	72	100	81	73	65	70	85	73	75	55	12316003	0
Malta	Marsaxlokk	2.81	61	75	75	100	93	72	60	67	72	37	59	50	3312559	0

국가명	대표항만명	LPI	Institutions	Infrastructure	ICT Adoption	Macroeconomic Stability	Health	Skills	Product Market	Labour Market	Financial System	Market Size	Business Dynamism	Innovation Capability	Port Throughput	Automatic Port
Mexico	Manzanillo	3.05	48	72	55	98	82	58	58	56	62	81	66	44	3078513	0
Morocco	Tanger Med	2.54	60	73	46	90	72	49	56	51	67	60	60	35	3472451	1
Netherlands	Rotterdam	4.02	79	94	76	100	94	85	70	75	85	74	81	76	14512661	1
Oman	Salalah	3.20	62	81	58	67	81	72	63	56	64	56	63	41	3385000	0
Pakistan	Karachi	2.42	48	56	25	69	56	41	45	51	55	71	63	36	2198648	0
Panama	Colon	3.28	51	69	50	90	92	58	59	56	68	49	59	37	4324478	1
Peru	Callao	2.69	49	62	46	100	95	60	57	59	61	62	56	33	2340000	0
Philippines	Manila	2.90	50	58	50	90	66	64	58	65	68	71	66	38	5085139	0
Poland	Gdansk	3.54	56	81	65	100	84	72	58	60	64	74	62	50	1947224	0
Portugal	Sines	3.64	65	84	71	85	94	70	60	63	70	60	70	54	1750445	0
Russian Federation	St Petersburg	2.76	53	74	77	90	69	68	53	61	56	84	63	53	2130000	0
Saudi Arabia	Jeddah	3.01	63	78	69	100	82	75	65	57	71	76	53	51	4116935	0
Singapore	Singapore	4.00	80	95	87	100	100	79	81	81	91	72	76	75	36599300	1
South Africa	Durban	3.38	57	68	50	88	53	58	55	61	83	69	62	45	2956700	0
Spain	Valencia	3.83	65	90	78	90	100	72	61	61	77	77	67	64	5128855	0
Sri Lanka	Colombo	2.60	52	69	40	68	87	64	43	52	57	58	60	35	7000000	0
Taiwan, China	Kaohsiung	3.60	69	87	82	100	94	76	66	73	88	75	73	80	10445726	1
Thailand	Laem Chabang	3.41	55	68	60	90	89	62	53	63	85	76	72	44	8070000	0
Turkey	Ambarli	3.15	54	74	58	61	87	61	54	53	61	79	59	45	3194196	0
United Arab Emirates	Dubai	3.96	73	88	92	100	72	71	72	66	74	70	69	52	14954000	1
United Kingdom	Felixstowe*	3.99	74	89	73	100	92	82	65	75	88	82	77	78	3930000	0

자료: WEF(2019); WorldBank(2018); Iloyd(2018)

스마트 항만도시를 대표하는 Overall LPI값을 y로 설정하고, 나머지 14개 x값을 독립변수로 설정, 로그 변환 후 SPSS를 이용하여 단계별 선택법으로 다중회귀분석을 실시했다. 더빈왓슨(Durbin Watson) 통계량이 2에 수렴하므로 잔차의 독립성이 확보되었고, 분산분석 결과 모형의 유의확률이 0.05보다 적기 때문에 회귀식이 의미가 있다. 회귀분석 결과 '스마트 항만도시(LSI)=0.315×Innovation_capability +0.290×Product_market-0.532'로 표현이 가능하다.

〈표 4-12〉 스마트 항만도시를 나타내는 구성요소에 대한 다중회귀분석 결과

변수명		추정계수	t-값	p-값(유의확률)
상수		-0.532	-2.846	0.000
혁신역량 (Innovation Capability)		0.315	6.280	0.000
생산시장 (Product market)		0.290	2.857	0.007
모형요약	R제곱값	0.762		
	더빈왓슨값	1.800		
분산분석	F값	69.002		
	유의확률	0.000		

자료: SPSS 분석결과 기반 저자 작성

스마트 항만도시의 물류효율성 성능은 연구개발, 다수 이해당사자 간 협업 등의 혁신역량(Innovation capability)과 무역장벽 해결, 통관절차의 효율성 확보 등 생산시장(Product market)과 양의 상관관계를 가지고 있다. 성과 있는 스마트 항만도시를 건설하기 위해서는 혁신역량과 생산시장 효율성 확보가 선행되어야 한다.

본 연구는 스마트 항만도시를 구상하기 위해 구성요소(인자)를 추출하는 것이 주요 목적이므로, 인자 간 상관관계 분석을 통해 통계적으로 유의한 변수를 추출한다. 스마트 항만도시(LPI)와 상관관계 분석

후 피어슨 상관계수가 0.7 이상인 변수를 추출하면 기술(Skill), 혁신역량(Innovation Capability), 제도(Institution), 금융시스템(Financial System), 인프라(Infrastructure), ICT 보급(ICT Adoption), 생산시장(Product Market) 등 총 7개 변수이다.

즉 성공적인 스마트 항만도시를 구축하기 위해서는 먼저 항만도시민의 기술(Skill) 및 혁신역량(Innovation Capability)을 끌어올릴 수 있는 환경을 조성해야 한다. 그다음 제도(Institution)적으로 재정지원(Financial System)이 가능하고, 항만 및 도시에 디지털 기술이 접목, 사용될 수 있도록 ICT 등 디지털 기술이 접목(ICT Adoption)되어 물류 흐름을 지원하는 인프라(Infrastructure)가 구축되어야 한다. 마지막으로는 수출입 물류의 효율성을 제고할 수 있도록 통관절차 간소화, 무역장벽 해소(Product Market) 등의 노력이 필요하다. 일곱 가지 변수를 조화롭게 배치한 스마트 항만도시를 구축해야 하지만 특히 회귀분석상의 혁신역량(Innovation Capability) 제고방안 마련, 원활한 수출입 물류환경 조성(Product Capability)이 우선시되어야 한다.

〈표 4-13〉 상관관계 분석결과

상관계수		스마트항만 도시(LPI)	제도	인프라	ICT보급	거시경제 안전성	보건	기술	생산시장	노동시장	금융 시스템	시장규모	기업활력	혁신역량	물동량	자동화 여부
스마트항만 도시(LPI)	Pearson 상관계수	1	.789**	.827**	.746**	.508**	.506**	.727**	.738**	.654**	.732**	.466**	.677**	.847**	.503**	.480**
	유의확률 (양쪽)		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.001
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
제도	Pearson 상관계수	.789**	1	.857**	.685**	.595**	.419**	.751**	.864**	.808**	.852**	.264	.777**	.835**	.488**	.520**
	유의확률 (양쪽)	.000		.000	.000	.000	.004	.000	.000	.000	.000	.076	.000	.000	.001	.000
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
인프라	Pearson 상관계수	.827**	.857**	1	.795**	.451**	.583**	.801**	.747**	.623**	.656**	.283	.627**	.852**	.444*	.495**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000		.000	.002	.000	.000	.000	.000	.000	.057	.000	.000	.002	.000
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
ICT보급	Pearson 상관계수	.746**	.685**	.795**	1	.470**	.617**	.821**	.702**	.647**	.604**	.230	.526**	.731**	.461**	.419**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000		.001	.000	.000	.000	.000	.000	.124	.000	.000	.001	.004
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
거시경제 안전성	Pearson 상관계수	.508**	.595**	.451**	.470**	1	.309*	.397**	.665**	.668**	.698**	.167	.557**	.506**	.399**	.368*
	유의확률 ㅋ(양쪽)	.000	.000	.002	.001		.037	.006	.000	.000	.000	.269	.000	.000	.006	.012
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
보건	Pearson 상관계수	.506**	.419**	.583**	.617**	.309*	1	.647**	.426**	.397**	.363*	-.049	.325*	.484**	.204	.294*
	유의확률 (양쪽)	.000	.004	.000	.000	.037		.000	.003	.006	.013	.747	.027	.001	.173	.047
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
기술	Pearson 상관계수	.727**	.751**	.801**	.821**	.397**	.647**	1	.705**	.720**	.597**	.122	.603**	.739**	.328*	.293*
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.006	.000		.000	.000	.000	.418	.000	.000	.026	.048
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
생산시장	Pearson 상관계수	.738**	.864**	.747**	.702**	.665**	.426**	.705**	1	.813**	.781**	.183	.727**	.690**	.427**	.504**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.000	.003	.000		.000	.000	.224	.000	.000	.003	.000
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
노동시장	Pearson 상관계수	.654**	.808**	.623**	.647**	.668**	.397**	.720**	.813**	1	.854**	.112	.845**	.714**	.429**	.373*
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.000	.006	.000	.000		.000	.460	.000	.000	.003	.011
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
금융 시스템	Pearson 상관계수	.732**	.852**	.656**	.604**	.698**	.363*	.597**	.781**	.854**	1	.260	.797**	.749**	.501**	.444**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.000	.013	.000	.000	.000		.081	.000	.000	.000	.002
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
시장규모	Pearson 상관계수	.466**	.264	.283	.230	.167	-.049	.122	.183	.112	.260	1	.324	.513**	.362*	.117
	유의확률 (양쪽)	.001	.076	.057	.124	.269	.747	.418	.224	.460	.081		.028	.000	.013	.438
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
기업활력	Pearson 상관계수	.677**	.777**	.627**	.526**	.557**	.325*	.603**	.727**	.845**	.797**	.324	1	.735**	.479**	.401**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.000	.027	.000	.000	.000	.000	.028		.000	.001	.006
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
혁신역량	Pearson 상관계수	.847**	.835**	.852**	.731**	.506**	.484**	.739**	.690**	.714**	.749**	.513**	.735**	1	.492**	.478**
	유의확률 (양쪽)	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.001	.001
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
물동량	Pearson 상관계수	.503**	.488**	.444*	.461**	.399**	.204	.328*	.427**	.429**	.501**	.362*	.479**	.492**	1	.611**
	유의확률 (양쪽)	.000	.001	.002	.001	.006	.173	.026	.003	.003	.000	.013	.001	.001		.000
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
자동화 여부	Pearson 상관계수	.480**	.520**	.495**	.419**	.368*	.294*	.293*	.504**	.373*	.444**	.117	.401**	.478**	.611**	1
	유의확률 (양쪽)	.001	.000	.000	.004	.012	.047	.048	.000	.011	.002	.438	.006	.001	.000	
	N	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46

자료: 저자 작성

2. 스마트 항만도시를 구성하는 속성 정의

스마트 항만도시를 구성하는 속성을 정의하기 위해 앞의 회귀분석과 상관관계 분석결과에서 도출된 스마트 항만도시 결정인자(변수)와 한국형 스마트항만의 4대 키워드인 SAFE를 활용했다. SAFE는 스마트 항만 연구(2019)에서 국내 항만의 당면과제와 벤치마킹 대상 6개 항만인 싱가포르항, 로테르담항, 함부르크항, 일본, 중국, 미국 항만 등에서 추진하고 있는 스마트항만 59개 과제를 그룹화해서 도출했다.[95]

〈표 4-14〉 스마트항만 키워드 및 스마트 항만도시 변수

스마트항만 키워드		상관관계 분석결과
4대 키워드	12개 과제	스마트 항만도시 변수
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	• 스마트교육 • 스마트안전 • 스마트보안	• 기술(Skill) • 혁신역량(Innovatin Capability)
쾌적하고 지속가능한 항만도시(Amenity portcity)	• 지속가능성 • 스마트에너지 • 미세먼지 관리	• 제도(Institutions) • 금융시스템(Financial System)
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	• 스마트인프라 • AI터미널 • 통신 • 플랫폼	• ICT 보급(ICT Adoption) • 인프라(Infrastructure)
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	• 스마트 자원관리 • 교통흐름관제	• 생산시장(Product Market)

주: 스마트항만을 항만도시 변경으로 항만 유지보수, 터미널 설계 등 항만에 국한한 스마트 인프라에서 교통망 연계 인프라인 인프라로 변경, 스마트항만 자원관리를 스마트 항만도시 전체의 자원관리로 변경
자료: 저자 작성

한국형 스마트항만 4대 키워드인 SAFE가 추구하는 목표는 인간이 행복한 항만(Secure & humanity port), 지속가능하고 쾌적한 항만(Amenity port), 초연결·자율적인 AI 항만(Fully connected & autonomous port), 효율적인

95) 이언경 외(2019. 12), pp. 167-183.

항만(Efficient port) 네 가지이다.[96] 스마트항만의 SAFE 키워드를 중심으로 스마트항만의 12개 중분류과제와 회귀분석 및 상관관계 분석에서도 도출된 스마트 항만도시 관련 변수 일곱 가지를 연계하여 스마트 항만도시 개념 속성을 정의한 결과는 〈표 4-15〉와 같다.

〈표 4-15〉 스마트 항만도시 구성속성 키워드 정의

대분류 속성	중분류 속성	정의
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	디지털 혁신기술 교육 클러스터	디지털 연구개발 역량을 육성할 뿐만 아니라 항만도시에 관련 질적 직업훈련 기관
	항만트럭과 일반자동차의 이동도로 분리	항만도시 설계 단계에서 항만과 도시의 이동 동선 최적화 등을 통한 안전사고 제로화
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	스마트그리드 기반 신재생에너지 공급체계	항만과 도시 모두의 에너지 효율뿐만 아니라 환경을 고려한 에너지 공급체계 구축
	항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간	항만과 도시가 상생 발전할 수 있도록 하는 녹지공간 및 주민편의시설 제공
	항만배출 미세먼지 감축·관리 시스템	항만에서 배출되는 미세먼지를 Zero화 하기 위한 친환경 시스템 구축
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	무인선박·무인차량·무인항공기 운송공간	AI 기반의 자율운항선박, 자율주행차량, 드론이 항만과 도시를 운행하는 도시
	AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축	물류 운송 시 다양한 교통수단과의 최적 연계로 단시간 택배 배송 가능
	5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축	스마트 항만도시의 빅데이터 정보 수집, 분석, 관리를 효율적으로 하기 위한 초고속 통신망 구축
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리	물류비용 절감, 항만생산성 향상시키기 위해 유휴 트럭, 컨테이너, 장비 등의 공유 및 화물추적관리
	항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제 시스템	항만-도시 간 정체 없는 물류 운송 및 도로파손 복구 시스템
	스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축	미래 스마트항만과 스마트도시의 공동 성장을 도모하기 위한 일관화된 관리조직

자료: 저자 작성

96) 이언경 외(2019. 12), p. 183.

제3절 한국형 스마트 항만도시 선호도 분석

1. 선호도 분석 설문설계

본 연구가 한국형 스마트 항만도시 개념을 설정하는 것이 하나의 목적이기 때문에 앞 절에서 정의된 스마트 항만도시의 구성속성에 대한 항만도시민의 선호도 분석이 필요하다. 이에 우리나라의 대표 5대 컨테이너항만인 부산, 인천, 광양, 울산, 평택·당진 등의 주요 항만도시 가구주 각 100명씩(세대주 또는 세대주의 배우자 대상) 총 500가구를 대상으로 약 1달간(2020. 9. 5~10. 5) 설문조사를 실시했다. 응답자의 특성은 남녀 성별은 50%로 동일하고, 연령대는 30대가 28.4%로 가장 많았으며, 그다음이 20대, 40대, 50대 순이다.

〈표 4-16〉 응답자 특성

구분		빈도	비율
성별	남	250	50.0
	여	250	50.0
연령	20대	128	25.6
	30대	142	28.4
	40대	126	25.2
	50대	104	20.8

자료: 저자 작성

설문 분석내용은 크게 세 가지로 나누어진다. 첫 번째는 항만도시민을 대상으로 스마트 항만도시 인지여부 등에 대한 일반적인 질문이다. 두 번째 설문항목은 한국형 스마트항만 개념설계를 위한 구체적인 기능(중분류 속성)에 대한 선호도를 묻는 질문이다(〈표 4-17〉의 선호도). 마지막 질문은 소득수준을 고려했을 때 속성 및 수준을 고려해

항만도시민의 지불의사액(WTP: willingness to pay)을 조사하는 것이다. 즉 시장재 및 비시장재 가치를 추정하는 데 유리한 선택실험법(CE: choice experiment)을 활용하여 항만도시민의 WTP, 스마트 항만도시 기능 속성의 선호도를 분석했다.

2. 설문 설계 및 분석 방법론

1) 한국형 스마트 항만도시 개념 설계를 위한 AHP 분석

스마트 항만도시 개념설계에 대한 세부적 속성 지표는 다양한 평가지표들로 구성될 수 있다. 또한 연구자에 따라, 시대적·사회적 상황에 따라, 평가의 목적과 시각에 따라 세부 평가지표는 얼마든지 다를 수 있다. 또한, 스마트 항만도시 개념에 대한 여러 상대적 선호도 평가지표는 동일한 비중으로 다뤄지는 것보다는 평가의 목적에 따라 적절한 가중치가 부여되는 것이 바람직하다.

한편, 스마트 항만도시 속성 평가모형을 개발하기 위해서는 다양한 평가지표를 하나의 지수 형태로 통합하는 과정이 필수적으로 요구된다. 지표 간 통합을 하는 과정에서 가장 중요한 요소는 각 평가지표 간의 가중치를 결정하는 것이다. 물론 간단하고 직관적으로 각 평가지표 간 가중치를 동일한 값으로, 즉 n개의 평가지표가 있다면 1/n의 가중치를 부여할 수 있다. 그렇지만, 보다 중요한 것은 스마트 항만도시 속성 평가에 필요한 평가지표를 결정하면서 평가체계를 설계하는 것이며, 이를 통해 보다 엄밀한 가중치를 결정하는 것이다.

가중치를 결정하는 방법은 통상 다기준 의사결정분석(multi-criteria decision-making) 방법론을 적용한다. 스마트 항만도시 개념 속성에

대한 상대적 선호도를 조사하기 위해 AHP(analytic hierarchy process) 방법을 사용한다. 스마트 항만도시 개념 속성을 나타내는 평가기준(criteria)의 가중치는 AHP 계층구조 내 각 속성들의 우선순위를 통해 도출된다. 가중치는 첫째, Saaty의 1~9점 척도를 활용해서 평가기준의 쌍대비교(pairwise comparision)를 시행하고, 둘째, 쌍대비교 행렬 내의 각 행의 기하평균을 가지고 평준화하며, 셋째, 일관성비율(CR: consistency ratio) 값이 기준을 만족하면 가중치가 결정된다.[97] 본 평가모형의 설문지는 평가지표에 대한 신뢰성을 점검하기 위해 내부연구진, 항만 정책 전문가 및 AHP 전문가의 내부 검토 및 설문안에 대한 수정과정을 거친 후 스마트 항만도시 선택 및 경쟁력 구성의 상대적 선호 평가모형에 대한 설문지를 확정했다.

〈표 4-17〉 스마트 항만도시 개념 속성 상대적 선호도 평가를 위한 계층구조

1계층 속성(Criteria)	2계층 속성(Sub-Criteria)
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	디지털 혁신기술 교육 클러스터
	항만트럭과 일반자동차의 이동도로 분리
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	스마트그리드 기반 신재생에너지 공급체계
	항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간
	항만배출 미세먼지 감축·관리 시스템
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	무인 선박· 무인차량·무인항공기 운송 공간
	AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축
	5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리
	항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제 시스템
	스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리조직 구축

자료: 저자 작성

97) Saaty(1980); Saaty(1996).

스마트 항만도시 속성 대안과 그 평가속성에 대한 계층별 정책 대안과 그 내용을 보면 1계층 속성(Criteria)은 안전하고 인간중심의 항만도시, 쾌적하고 지속가능한 항만도시, 초연결·자율화된 항만도시, 효율적인 항만도시 네 가지로 분류된다. 2계층 속성(Sub-Criteria)은 1계층 속성을 대표하는 스마트 항만도시의 세부 기능들로 정의했다(〈표 4-14〉, 〈표 4-15〉 도출과정 참조).

2) 한국형 스마트 항만도시 선호도 분석-컨조인트 분석 및 WTP

(1) 속성 및 수준 결정

스마트 항만도시와 같이 시장에서 거래되지 않거나, 현존하지 않는 재화에 대한 비시장적 편익을 추정하기 위해서는 조건부 가치측정법(CVM: contingent valuation method)과 컨조인트 분석법(conjoint analysis)이 널리 활용되고 있다. 정책 결정자가 단순히 혁신을 통해 $Q_0 \rightarrow Q_1$의 개선수준에 대한 편익뿐만 아니라, $Q_0 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_3 \rightarrow \cdots \rightarrow Q_n$ 등 여러 개의 개선수준에 대한 가치측정을 통한 다양한 기술정책 대안들의 평가에는 CVM 적용이 불가능하다. 이와 달리 컨조인트 분석법은 CVM의 이러한 한계를 극복한 방법론으로서, 다중속성들로 구성되고 응답자의 지불의사액 간의 상충관계를 동시에 추정할 수 있기 때문에, 다양한 수준으로 변화하는 개선효과에 대한 가치측정이 가능하다.[98]

본 연구에서 스마트 항만도시는 다양한 특성을 가지므로, 이러한 특성을 반영할 수 있는 컨조인트 분석법을 적용하여 편익을 추정했다. 스마트 항만도시는 응답자에게 생소한 주제이므로 명확한 가상

98) 곽승준(2005), p. 12.

환경 전달이 가능한 속성(attribute) 및 속성수준(level)을 설정하는 것이 필요하다. 본 연구에서 사용되는 속성과 속성수준(표 4-18 참조)은 한국형 스마트항만 개념 정립 키워드를 기반으로 도출한 후 전문가와 협의를 통해 총 네 가지 속성을 설정했다. 그리고 전문가 조사를 통해 각 속성이 기대할 수 있는 최고수준과 최저수준을 식별하였고, 이를 바탕으로 개별 속성의 나머지 수준을 결정했다. 즉 속성변수와 개별 속성변수의 평가 단위를 결정한 후, 조건부 선택법 질문에 대한 응답자의 의미 있고 정확한 판단을 위해 속성별 수준을 3개로 지정했다.

〈표 4-18〉 한국형 스마트 항만도시 선호도 조사를 위한 속성 및 수준

속성 (attribute)	수준 (Level)	설명
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	(만족도) 낮음	항만도시의 청년인구가 줄고 항만 관련 안전사고가 지속적으로 발생
	(만족도) 중간	항만도시의 청년층 인구수는 변화가 없고 항만 관련 안전사고 감소를 위해 당사자들만 노력
	(만족도) 높음	항만도시로 청년층이 유입되고 항만 관련 안전사고가 제로인 도시
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	(쾌적성) 낮음	화석연료 공급, 녹지공간 거의 없음, 항만 미세먼지 배출 심각
	(쾌적성) 중간	태양열/LNG 연료 일부 사용, 항만-도시 간 나무가 좀 있음. 간혹 항만 미세먼지 배출 심각
	(쾌적성) 높음	깨끗한 신재생에너지 공급, 항만-도시 간 공원 있음. 항만 미세먼지가 도심으로 오지 않음
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	(연결성) 낮음	도로 교통체증이 심각하고, 교통수단 연계 시 대기시간 심각
	(연결성) 중간	특정 시간만 교통체증과 대기시간 발생
	(연결성) 높음	모든 교통망이 최적으로 연계되어 대기시간이 거의 없고 교통체증이 없음

속성 (attribute)	수준 (Level)	설명
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	(효율성) 낮음	항만발전과 도시발전이 따로 가고 있는 상태
	(효율성) 중간	항만과 도시가 일부만 계획을 함께해서 항만의 이득이 도시로 일부만 흡수
	(효율성) 높음	항만과 도시가 함께 계획해서 항만도시의 경제가 매우 활성화

자료: 저자 작성

(2) 선택대안집합의 설계와 구성

주의 깊게 고안된 실험계획법(experimental design)에 의존하여 여러 속성변수 및 수준들로 구성된 한국형 스마트 항만도시 건설 대안들이 응답자의 선택확률에 영향을 주도록 선택대안집합(choice sets)을 설계했다. 스마트 항만도시 건설의 비시장적 편익 추정을 위해 적용되는 조건부 선택법은 필수적으로 자료 생성과정(data generating process)을 거치는 구조화된 방법으로 개별 속성 간의 직교성(orthogonality)을 보장해주는 주효과 직교설계(orthogonal main effects design) 방법을 적용했다. 응답자들의 대안선택에 대한 인식상의 부담을 줄이고 조건부 선택자료를 이용하여 중첩로짓모형(NL: nested logit model)을 추정할 때 직면하는 '관련 없는 대안으로부터의 독립성(IIA: Independence from Irrelevant Alternatives)' 문제를 해결하기 위해 응답자에게 스마트 항만도시가 건설되지 않는 경우를 의미하는 현재 상태 대안과 스마트 항만도시가 건설되는 대안 두 가지로 총 세 가지를 제시했다.

모든 속성(attribute) 및 수준(level)의 조합인 총 34×4=324개 조합[99]에 대한 항만도시민 대상 스마트 항만도시 선호도에 대한 설문

99) 가격속성의 경우 원래 속성수준의 개수가 5개이지만 0원을 제외한 4개에 대해서만 직교설계를 한다.

조사는 현실적으로 불가능하므로 실험설계 후 직교배열(orthogonal array))을 통해 설문문항 수를 감소시켰다. 선택대안집합 구성에는 너무나도 많은 선택대안집합들이 존재하지만 응답자에게 모형 추정을 가능하게 하는 최소 선택대안집합을 전체 대안집합으로부터 도출한다. SPSS 패키지를 사용하여 주효과 직교설계를 수행[100]하여 16개의 선택대안이 도출되었으며 2개씩 쌍을 짓고 여기에다 현재 상태를 포함하여 3개가 하나의 선택대안집합이 되도록 구성하였더니 총 8개의 선택대안집합들이 도출되었다. 〈표 4-19〉는 실제 설문에서 사용된 하나의 선택대안집합으로 모든 응답자들이 제시된 질문에 대해 현재 상태 대안과 다양한 속성수준으로 정의된 스마트 항만도시 건설의 대안 4개 중에서 하나를 선택하도록 질문했다.

〈표 4-19〉 설문조사 예시(컨조인트 카드)

선택 1	대안A	대안B	대안C (현재 상태)
안전하고 인간중심의 항만도시	중간	높음	낮음
쾌적하고 지속가능한 항만도시	낮음	높음	낮음
초연결·자율화된 항만도시	높음	낮음	낮음
효율적인 항만도시	중간	높음	낮음
귀하 가구의 연소득세 추가 부담액	10,000원	5,000원	0원
하나만 골라 V로 체크해 주십시오.	□ 대안A	□ 대안B	□ 대안C

자료: 저자 작성

100) 속성들 간에 심각한 상호작용(interactions)이 존재한다면, 주효과 직교설계를 사용하여 얻어진 결과들은 편의(bias)될 수 있다. 이 경우 그러한 상호작용을 효용함수(strictly additive equation)보다는 다항방정식(polynominal equation)으로 구성하는 것이 더욱 정확할 것이다. 불행히도 모든 상호작용을 포함하는 것은 다음의 두 가지 이유 때문에 종종 기피된다. 첫째, 모든 가능한 속성 간의 상호작용을 고려하는 것은 측정되는 효과들의 수를 상당히 증가시킬 뿐만 아니라 모형 계산을 어렵게 만든다. 둘째, 과도한 모형의 조정은 단순한 직교설계에 비교해 볼 때 설명력이 크게 떨어진다(Elrod et al., 1992).

(3) 추정모형[101]

McFadden(1974)에 의해 개발된 NL 모형은 대안의 구성요소인 개별 속성이 응답자의 선택확률에 어떻게 영향을 주는지를 모형화하는데 있어 계량경제학적인 체계를 제공한다. 이 모형에서 가장 기본이 되는 개별 응답자의 효용함수는 응답자 i가 직면한 선택대안집합 C_i 내에 있는 한 선택대안 j로부터 얻는 간접효용함수이다.

$$U_{ij} = V_{ij}\ (Z_{ij}, S_i) + e_{ij} \tag{1}$$

V_{ij}는 관측이 가능한 확정적(deterministic) 부분이고, e_{ij}는 관측이 불가능한 확률적(stochastic) 부분이다. 응답자 i가 선택대안집합 C_i 내의 모든 선택대안들에 대해 $U_{ij} > U_{ik}\ (k \in C_i, k \neq j)$을 만족한다면, 선택대안 j를 선택한다.

$$\Pr_i(j|C_i) = \Pr\{V_{ij} + e_{ij} > V_{ik} + e_{ik}\} = \Pr\{V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}\} \tag{2}$$

식 (2)를 추정하기 위해서는 다항로짓모형하에서 오차항의 분포는 통상 독립적(independent)이며 일치적(identical)인 제I형태 극치 분포(Type I extreme value distribution)를 따른다(McFadden, 1974). 이 경우 응답자 i가 선택대안 j를 선택할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr_i(j|C_i) = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(V_{ik})} \tag{3}$$

컨조인트 분석 질문으로부터 얻어진 각 응답은 응답자의 효용극대화를 위한 선택결과로서 해석한다. 컨조인트 분석 질문은 응답자에게 3개의 대안을 제시하고, 응답자가 주어진 대안에서의 속성과 가격 사이의 상충관계를 고려하여 3개의 대안 중 1개의 대안을 선택하

101) 본 연구의 연구방법론은 진세준 외(2014), 진세준 외(2018) 참조.

도록 한다. 컨조인트 분석 질문에 직면한 개별 응답자 $i=1,\cdots,N$의 선택대안 j에 대한 선택결과는 '예' 또는 '아니오'가 되며 이와 관련된 변수 Y_{ij}를 $Y_{ij}=\mathbf{1}(i$번째 응답자가j번째 대안을 선택)로 정의한다. 여기서 $\mathbf{1}(\cdot)$은 인디케이터 함수(indicator function)로 괄호 안이 참이면 1이 되고 아니면 0으로, Y_{ij}는 i번째 응답자가 j번째 선택대안을 선택하였다면 1을 취하고, 그렇지 않으면 0을 취한다.

$$\ln L=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{5}\{Y_{ij}\cdot\ln[\Pr_i(j|C)]\} \tag{4}$$

IIA 가정의 위배를 피하기 위한 방법은 다른 그룹에 포함된 오차항 간의 상관관계 혹은 중첩로짓모형(NL: nested logit model)으로 추정한 대안의 수준을 고려하는 것이다(McFadden, 1978). 2단계의 NL 모형에서 i번째 응답자가 현재 상태와 선택대안으로 구성된 m번째 계층에서 j번째 선택대안을 선택할 확률은 식 (5)와 같이 표현한다.

$$P_{ijm}=P_i(j|m)\cdot P_i(m) \tag{5}$$

여기에서 $P_i(j|m)$은 i번째 응답자가 m번째 계층에서 조건부로 나온 결과인 선택대안 j를 선택할 확률이고 $P_i(m)$은 i번째 응답자가 m번째 계층을 선택할 확률이며, 응답자의 효용함수에서 오차항은 일반적인 극한값 분포를 따른다고 가정한다면 확률은 식(6)과 같이 표현된다.

$$P_{ijm}=\frac{\exp(V_{jm}/\alpha)[\sum_{l=1}^{J_m}\exp(V_{lm}/\alpha)]^{(\alpha-1)}}{\sum_{k=1}^{M}[\sum_{l=1}^{J_m}\exp(V_{lk}/\alpha)]^{\alpha}} \tag{6}$$

계수 α는 '내포치(inclusive value)이다. $\alpha=1$일 때 확률은 식 (6)과 같이 표현되며 일반적인 MNL 확률모형이 되고, $\alpha \neq 1$일 때는 NL 확률모형이 된다. 따라서 IIA 가정의 성립 여부를 판단하기 위해 $\alpha=1$이라는 귀무가설을 검정해야 하며, 식 (5)를 식 (3)에 대입한 후, 다시 이 식을 식 (4)에 대입하여 최우추정법을 적용하면 β에 대한 일치추정치를 얻을 수 있다. 공변량을 포함하지 않은 모형에서는 간접효용함수의 관측 가능한 부분인 V_{ij}를 다음과 같은 속성벡터 $Z=(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5)$=(안전하고 인간중심의 항만도시, 쾌적하고 지속가능한 항만도시, 초연결·자율화된 항만도시, 효율적인 항만도시, 소득세)의 선형함수로 표현한다.

본 연구 모형에서는 A 대안과 B 대안을 각각 나타내는 대안특화상수(ASC: alternative-specific constant)를 포함하고 있으며, ASC는 각 속성에 의해 반영되지 않는 특정 대안의 효용을 나타내는 역할을 한다.

$$V_{ij} = ASC_i + \beta_1 Z_{1,ij} + \beta_2 Z_{2,ij} + \beta_3 Z_{3,ij} + \beta_4 Z_{4,ij} + \beta_5 Z_{5,ij} \qquad (7)$$

여기서 β_1부터 β_4는 응답자의 효용에 영향을 미치는 개별 속성에 대한 추정계수이다. 이때 식 (7)을 전미분함으로써 개별 편익 속성 변수들의 현재 수준으로부터 한 단위 증가에 대한 MWTP를 다음과 같이 구할 수 있으며, 식 (8)은 가격변화와 개별 속성 간의 한계대체율(marginal rate of substitution)을 나타낸다.

$$MWTP_{Z_1} = dZ_9/dZ_1 = -\beta_1/\beta_9$$

$$MWTP_{Z_2} = dZ_9/dZ_2 = -\beta_2/\beta_9$$

.....

$$MWTP_{Z_8} = dZ_9/dZ_8 = -\beta_8/\beta_9$$

3. 설문 분석결과

1) 스마트 항만도시 인지도 조사결과

스마트항만에 대해 들어본 경험이 있는지에 대해서 조사대상자들의 평균 70% 이상이 스마트항만에 대해 들어본 적이 없다고 응답했다.

〈표 4-20〉 스마트항만 인지 여부

단위: %

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	평균
있다	29	24	32	35	29	29.8
없다	71	76	68	65	71	70.2

자료: 저자 작성

현재 거주 중인 항만지역의 향후 개발 방향에 대한 질문에 부산과 인천시 주민들은 항만과 도시를 녹지공간 등으로 분리하는 것을 희망한 반면, 광양, 울산, 평택·당진시 주민들은 항만과 도시의 연계 강화를 희망하는 것으로 조사되었다. 부산항과 인천항의 결과는 현재 항만의 미세먼지 배출, 대형트럭의 도시 도로 운행 등으로 인한 불편함 등이 반영된 것으로 판단된다.

〈표 4-21〉 항만도시 개발 방향 선호도

단위: %

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	평균
현 항만 형태 유지	10.0	7.0	15.0	12.0	6.0	10.0
항만과 도시 분리(녹지공간)	54.0	53.0	36.0	38.0	44.0	45.0
항만과 도시 연계 강화	30.0	33.0	47.0	47.0	47.0	40.8
항만기능 폐쇄(전면 친수공간으로 재개발)	6.0	7.0	2.0	3.0	3.0	4.2

자료: 저자 작성

현재 거주하고 있는 항만도시가 향후 4차 산업혁명 기술이 접목된 스마트 항만도시로 탈바꿈될 경우 거주할 의사가 있는지에 대해 질문한 결과, 응답자의 과반수가 스마트 항만도시에 거주할 의사가 있는 것으로 조사되었다.

〈표 4-22〉 스마트 항만도시 거주 의사

단위: %

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	평균
있다	81	73	78	72	71	75
없다	19	27	22	28	29	25

자료: 저자 작성

본인이 거주하고 있는 항만이 스마트항만으로 변경될 경우, 향후 항만도시 개발 방향에 대해 부산과 인천시 주민들은 항만과 도시의 분리를 희망하였으며, 광양, 울산, 평택·당진시 주민들은 항만과 도시의 연계 강화를 희망하는 것으로 조사되었다. 부산시와 인천시의 경우에도 항만도시에 비해 스마트 항만도시에 대해 항만과 도시 연계 강화 필요성이 높은 편이다.

〈표 4-23〉 스마트 항만도시 개발 방향 선호도

단위: %

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	평균
현 항만 형태 유지	6.0	3.0	6.0	6.0	3.0	4.8
항만과 도시 분리(녹지공간)	49.0	52.0	34.0	36.0	39.0	42.0
항만과 도시 연계 강화	42.0	43.0	57.0	55.0	55.0	50.4
항만기능 폐쇄(전면 친수공간으로 재개발)	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.8

자료: 저자 작성

2) 한국형 스마트항만 개념설계를 위한 AHP 분석결과

AHP 분석을 통한 스마트항만 개념설계 선호도 조사를 한 결과, 모든 항목에서 일관성계수(CI)가 10% 이내로 조사되었다. 스마트 항만도시 대분류 내 스마트 항만도시 개념에 대한 제1계층 분석결과, 모든 지역에서 안전하고 인간중심의 항만도시에 대한 선호도가 가장 높으며, 다음으로 쾌적하고 지속가능한 도시, 초연결·자율화된 항만도시, 효율적인 항만도시 순으로 조사되었다.

〈표 4-24〉 스마트 항만도시 개념 대분류(1계층) 선호도

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	선호도
안전하고 인간중심의 항만도시	0.4107	0.4017	0.4279	0.4376	0.4243	0.4204
쾌적하고 지속가능한 도시	0.2923	0.2931	0.2782	0.2713	0.2831	0.2836
초연결/자율화된 항만도시	0.1708	0.1738	0.1725	0.1764	0.1738	0.1735
효율적인 항만도시	0.1262	0.1313	0.1214	0.1147	0.1188	0.1224

자료: 저자 작성; CI=6.23%

'안전하고 인간중심의 항만도시'의 세부항목인 디지털 혁신기술 교육 클러스터와 항만 트럭과 일반자동차의 이동도로 분리에 대한 선호도 분석결과 모든 지역에서 디지털 혁신기술 교육 클러스터에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다.

〈표 4-25〉 안전하고 인간중심의 항만도시 소분류(2계층) 선호도

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	선호도
디지털 혁신기술 교육 클러스터	0.6229	0.6048	0.6767	0.664	0.6534	0.6648
항만 트럭과 일반자동차의 이동도로 분리	0.3771	0.3952	0.3233	0.336	0.3466	0.3552

자료: 저자 작성

'쾌적하고 지속가능한 항만도시'의 세부항목인 스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계, 항만-도시간 충분한 녹지공간 및 휴식공간, 항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템에 대한 선호도 분석결과 모든 지역에서 스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계에 대한 선호도가 높다. 그다음으로 항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 관리시스템 순으로 선호도가 높은 것으로 나타났다.

〈표 4-26〉 쾌적하고 지속가능한 항만도시 소분류(2계층) 선호도

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	선호도
스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계	0.4273	0.4392	0.5014	0.4984	0.4607	0.4653
항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간	0.3531	0.3513	0.3087	0.3176	0.3379	0.3339
항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템	0.2196	0.2095	0.1899	0.184	0.2014	0.2008

자료: 저자 작성, CI=5.75%

'초연결·자유화된 항만도시'의 세부항목인 무인 선박·무인 차량·무인 항공기 운송 공간, AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축, 5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축에 대한 선호도 분석결과 모든 지역에서 무인 선박·무인 차량·무인 항공기 운송 공간에 대한 선호도가 높다. 그다음으로 유사한 수준으로 AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축에 대한 선호도가 높은 편이다.

〈표 4-27〉 초연결·자율화된 항만도시 소분류(2계층) 선호도

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	선호도
무인선박·차량·항공기 운송 공간	0.3982	0.3937	0.447	0.431	0.3955	0.4130
AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축	0.3854	0.3886	0.3432	0.3661	0.3811	0.3729
5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축	0.2164	0.2178	0.2097	0.2029	0.2235	0.2141

자료: 저자 작성, CI=5.24%

'효율적인 항만도시'의 세부항목인 항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리, 항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제 시스템, 스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리조직 구축에 대한 선호도 분석결과 모든 지역에서 항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다. 그다음으로 항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제 시스템의 선호도가 높았다.

〈표 4-28〉 효율적인 항만도시 소분류(2계층) 선호도

구분	부산	인천	광양	울산	평택·당진	선호도
항만-도시 자원할당·공유 및 추적관리	0.4569	0.4597	0.4757	0.5004	0.4767	0.4740
항만-도시 간 통합교통 흐름 관제 시스템	0.3287	0.3257	0.327	0.3221	0.3303	0.3270
스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리조직 구축	0.2144	0.2146	0.1973	0.1776	0.193	0.1990

자료: 저자 작성, CI=2.69%

종합분석 결과, 부산, 인천, 광양, 울산, 평택·당진 조사지역 응답자들은 스미트 항만도시에 입주·설치해야 하는 시설 및 기능으로 '디지털 혁신기술 교육 클러스터'를 가장 선호하고 있다. 그다음으로 지역에 따라 차이는 있으나 '항만 트럭과 일반자동차의 이동도로 분리',

'스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계', '항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간'을 선호하는 것으로 나타났다. 항만도시민들은 도시민 중심의 지속가능한 발전이 가능한 쾌적한 항만도시를 선호하는 것으로 나타났다. 그다음으로 '무인선박·무인차량·무인항공기(드론) 운송 공간'과 'AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축'이 이뤄진 공간이 선호되는 것으로 나타났다. AHP 분석 결과와 국가경쟁력지수 4.0의 12개 분야 중 상관관계 분석을 한 결과인 기술, 혁신역량, 제도, 금융시스템, 인프라, ICT 보급, 생산시장 7개의 연관 관계를 분석해보면, 디지털 혁신기술 교육 클러스터를 구축해서 국민의 디지털 역량을 제고시킬 수 있다. 제도적으로 에너지 효율성, 보안, 국토의 질을 고려한 지속가능한 항만도시 인프라 및 교통 흐름 체계를 구축해야 하는 것으로 판단된다.

〈표 4-29〉 항만도시민의 스마트 항만도시 개념 선호도 결과

구분	5대 항만도시		최고점 기준 상대적 중요도	상관관계 분석결과
	순위	AHP 선호도		
디지털 혁신기술 교육 클러스터	1	0.2895	100.0%	기술
항만트럭과 일반자동차의 이동도로 분리	2	0.1395	48.2%	제도(보안 등), 인프라
스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계	3	0.1383	47.8%	제도(에너지효율성)
항만-도시간 충분한 녹지공간 및 휴식공간	4	0.0859	29.7%	제도(국토관리질)
무인 선박·무인차량·무인항공기 운송 공간	5	0.0771	26.6%	ICT보급
AI 기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축	6	0.0592	20.4%	인프라
항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리	7	0.0578	20.0%	생산시장(통관절차 효율화 등)
항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템	8	0.0528	18.2%	제도(국토관리질)
항만-도시 간 통합 교통 흐름 관제 시스템	9	0.0397	13.7%	생산시장(통관절차 효율화 등)
5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축	10	0.0362	12.5%	ICT보급

구분	5대 항만도시		최고점 기준 상대적 중요도	상관관계 분석결과
	순위	AHP 선호도		
스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리조직 구축	11	0.024	8.3%	혁신역량(다수이해 관계자 협력)

주: 상관관계 분석결과의 금융시스템은 전 부분과 연관이 있음
자료: 저자 작성

항만도시민이 선택한 스마트 항만도시 개념 선호도는 상관관계 분석결과와도 유사하다. 항만도시민이 선택한 스마트 항만도시의 모습은 도요타가 2021년 폐쇄 예정인 시즈오카현의 도요타 부지에 건설 예정인 스마트시티인 우븐시티(Woven City) 개념과 현대차가 2020년 CES에서 발표한 미래 항공도시, 칼마(Kalmar)의 Port 2060의 개념을 합쳐놓은 것과 유사하다. 우븐시티는 자율주행, AI 등 미래기술이 적용되어 도로는 완전자율주행차량, 보행자만을 위한 도로, 속도제한이 있는 개인 모빌리티와 보행자가 함께 이용하는 도로 등으로 구분되고, 물건 배송이 필요할 때는 이동수단, 매장 등으로 활용 가능한 자율주행 모빌리티인 이팔레트(e-Palettes)에 넣어 지하 인프라를 통해 처리된다.[102] 현대차의 항공도시는 ① 하늘에는 활주로 없이 수직 이착륙이 가능한 드론이 날고, ② 땅에는 호텔·병원 등 다양한 용도로 쓰이는 자율주행차가 다니며, ③ 모든 이동수단은 도시 곳곳의 정류장(허브)으로 모여 도시 인프라의 구심점 역할을 하게 된다.[103] 칼마의 Port 2060년의 모습은 신재생에너지 공급체계를 갖춰 완전 자동화되고, 하이퍼루프(hyperloop)를 통해 스마트컨테이너 화물이 목적지에 공급되는 형태이다.[104]

102) STONE,「툐요타가 그리는 미래도시, Woven City」, (검색일: 2020. 10. 1)
103) ChosunBiz10,「현대차 항공도시, 도요타 AI도시…CES서 내놓은 미래」, (게시일: 2020. 1. 8, 검색일: 2020. 10. 1)
104) port.today(게시일: 2017. 5. 12, 검색일: 2020. 10. 1)

3) 한국형 스마트 항만도시 선호도 분석결과–컨조인트 분석·WTP

다항로짓모형 추정결과에 따르면 ASC, 즉 상수항을 제외한 모든 추정계수는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하다. 아울러 추정계수의 부호도 사전적인 예상과 정확하게 일치하였다. 예를 들어 사업추진비용 항을 제외한 모든 항에 대한 추정계수는 양(+)의 부호를 갖는데 이것은 이 속성들의 수준이 증가할수록 응답자의 효용이 증가함을 의미한다. 반면 소득세 항에 대한 계수가 음(-)의 부호를 갖는 것은 비용수준의 증가가 응답자의 효용을 감소시킨다는 것을 의미한다. 추정결과의 통계적 유의성 및 추정계수 부호의 적절성 등을 종합적으로 고려할 때, 응답자들은 컨조인트 분석에서 제시되었던 가상적인 상황 설정에 효과적으로 반응하였다고 판단된다. 아울러 3개의 대안 중에서 1개의 대안을 선택하도록 요구되었던 가치판단의 작업을 잘 받아들였으며 무리 없이 수행하여 본 연구결과를 정책적으로 해석하고 활용하는 데 충분한 타당성이 있다고 판단된다.

〈표 4-30〉 중첩로짓모형의 추정결과

변수명	추정계수	t-값	p-값
특정대안상수(ASC)	-0.062	-0.290	0.000
안전하고 인간중심의 항만도시	0.449	5.277	0.001
쾌적하고 지속가능한 항만도시	0.258	3.254	0.033
초연결·자율화된 항만도시	0.184	2.135	0.008
효율적인 항만도시	0.274	2.635	0.000
소득세	-0.096	-6.343	0.000
관측의 갯수	2,000		
로그-우도함수값	-1,852.193		

주: ASC(Alternative Specific Constant), 선택집합의 선택에는 영향을 줬으나 모형에 포함되지 않은 모든 영향들의 평균값

자료: 저자 작성

한 단위 추가적으로 개선하는 것에 대한 비시장적 편익의 증가분을 의미하는 개별 속성에 대한 한계별지불의사액(MWTP)을 추정했다. 개별 속성에 대한 MWTP 추정치의 t-값은 델타법(delta method)을 이용하여 추정되고(Greene, 2000), 추정된 t-값으로 판단하건대, 모든 속성에 대한 MWTP 값들은 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하다. 응답자들은 안전하고 인간중심의 항만도시 건설로 인한 수준 향상에 대해 추가적으로 4,673원, 쾌적하고 지속가능한 항만도시 건설로 인한 수준 향상에 대해 2,688원, 초연결·자율화된 항만도시 건설로 인한 수준 향상에 대해 1,917원, 효율적인 항만도시 건설로 인한 수준 향상에 대해 2,852원의 가치를 가지는 것으로 평가했다. 항만도시민은 안전하고 인간중심의 항만도시에 가장 많은 금액을 지불할 의사가 있는 것으로 나타났다.

〈표 4-31〉 속성별 MWTP 추정결과

단위: 원

변수명	MWTP	t-값	p-값
안전하고 인간중심의 항만도시	4,673	3.99	0.000
쾌적하고 지속가능한 항만도시	2,688	2.56	0.010
초연결·자율화된 항만도시	1,917	1.81	0.070
효율적인 항만도시	2,852	3.25	0.001

자료: 저자 작성

컨조인트 분석을 수행하는 중요한 목적 중 하나는 표본 정보를 이용하여 해당 사업의 개별 속성에 대한 MWTP 내지는 편익을 추정하는 것이다. 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여 모집단 전체로 확장하는 작업이 필요하다. 이 과정에서 따져봐야 할 중요한 사항은 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하고 있는지 여부이다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임 있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자만으로 한정되어야 한다.

표본은 우리나라 항만도시의 가구 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상시장을 이용했다 하더라도 책임 있는 정보를 도출했다고 볼 수 있으므로 표본 정보를 모집단으로 확장하는 데 별 무리가 없는 것으로 판단된다. 본 연구에서의 모집단은 『신 해양도시 조성 필요성 연구』(한국해양수산개발원, 2019)의 연안 도시인구 정보(1,702만 1,762명)와 행정안전부에서 발표(2020. 7)한 가구당 평균 인구수(2.27명)를 이용하여, 새로운 항만도시 가구 수를 설정하고, 이를 모집단으로 가정하여 분석하였다.

〈표 4-32〉 한국형 스마트 항만도시 건설의 속성별 연간 비시장가치 추정결과

2020년 기준 항만도시* 가구 수(A)	변수명	속성별 MWTP (단위: 원/가구/연, B)	스마트 항만도시의 속성별 연간 편익 (단위: 백만 원, C=A×B)
7,498,574	안전하고 인간중심의 항만도시	4,673	35,041
	쾌적하고 지속가능한 항만도시	2,688	20,156
	초연결·자율화된 항만도시	1,917	14,375
	효율적인 항만도시	2,852	21,386

주: 항만도시 가구 수 = 17,021,762명 / 2.27명 = 7,498,574가구
자료: 저자 작성

한국형 스마트 항만도시 건설의 연간 편익 추정결과, 안전하고 인간중심의 항만도시를 현재 수준에서 만족도 한 단계(현재 수준(낮음)→중간) 상승시키는 데 국민이 최소로 합의하는 소요재원은 350억 4,100만 원으로 나타났다. 쾌적하고 지속가능한 항만도시를 현재 수준에서 만족도 한 단계(현재 수준(낮음)→중간) 상승시키는 데 국민이 최소로 합의하는 소요재원은 201억 5,600만 원으로 나타났다. 초연결·자율화된 항만도시를 현재 수준에서 만족도 한 단계(현재 수준(낮음)→중간) 상승시키는 데 국민이 최소로 합의하는 소요재원은 143

억 7,500만 원으로 나타났다. 효율적인 항만도시를 현재 수준에서 만족도 한 단계(현재 수준(낮음)→중간) 상승시키는 데 국민이 최소로 합의하는 소요재원은 213억 8,600만 원으로 나타났다.

한국형 스마트 항만도시 건설을 통해 4개의 속성이 모두 현재 수준에서 중간 수준으로 변화된다고 가정하였을 때 스마트 항만도시 건설의 연간 편익(국민이 최소로 합의하는 소요재원)은 총 909억 5,800만 원이다. 한국형 스마트 항만도시 건설을 통해 4개의 속성이 모두 현재 수준에서 가장 이상적인 수준인 높음 수준으로 변화된다고 가정하였을 때 스마트 항만도시 건설의 연간 편익(국민이 최소로 합의하는 소요재원)은 1,819억 1,500만 원으로 나타났다.

〈표 4-33〉 한국형 스마트 항만도시 건설 시나리오별 비시장가치 추정결과

단위: 백만 원

구분	시나리오 A (현재 수준→중간)	시나리오 B (현재→높음)
안전하고 인간중심의 항만도시	35,041	70,082
쾌적하고 지속가능한 항만도시	20,156	40,312
초연결·자율화된 항만도시	14,375	28,750
효율적인 항만도시	21,386	42,772
합계	90,958	181,915

자료: 저자 작성

제4절 한국형 스마트 항만도시 연계 발전 방향

앞 절의 한국형 스마트 항만도시 구성요소(속성) 선호도 분석결과, 투자금액을 고려하지 않았을 때는 '안전하고 인간중심의 항만도시'를 선호하고 그다음이 '쾌적하고 지속가능한 항만도시', '초연결·자

율화된 항만도시', '효율적인 항만도시'였다. 그런데 투자를 고려할 때 한국형 스마트 항만도시 선호도 1위는 '안전하고 인간중심의 항만도시'였으나, 그다음이 '효율적인 항만도시'로 나타났다. AHP 분석 결과에서 2위였던 '쾌적하고 지속가능한 항만도시'와 '초연결·자율화된 항만도시'는 각각 3위, 4위를 차지했다.

분석결과를 종합해보면 항만도시민은 개인적으로는 도시민이 안전, 쾌적성, 편리함 등을 중시하지만, 투자관점에서 생각했을 때는 항만도시를 통해 물류 흐름이 원활하게 되고 이를 통한 항만과 도시의 상생발전을 통해 경제적 이익을 발생하는 것을 희망하는 것으로 판단된다.

1) 한국형 스마트 항만도시 발전단계 변화

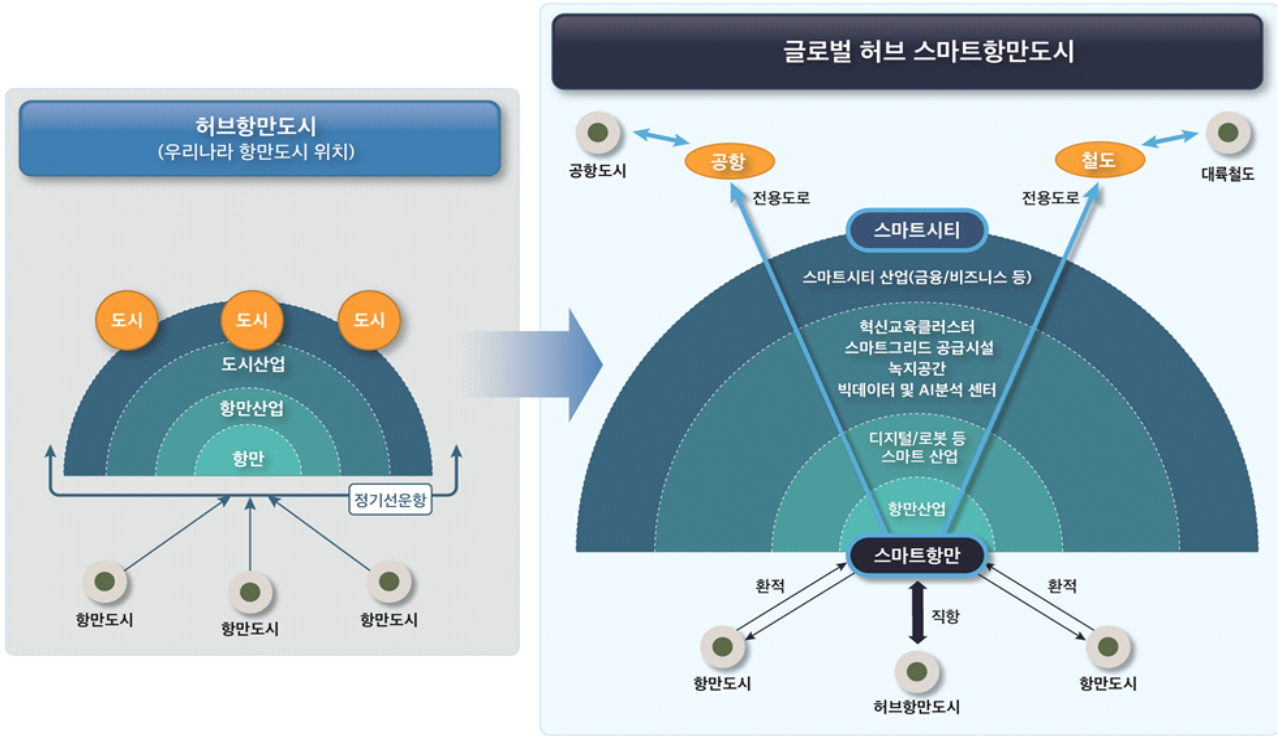
2장의 〈그림 2-8〉과 같이 항만도시는 '어촌마을→식민지시대 도시항만→수출입 도시항만→자유무역 항만도시→허브 항만도시→글로벌 허브 항만도시'로 발전한다. 우리나라 항만도시는 현재 환적화물이 집적되고 배후단지 및 글로벌 네트워크가 강화되는 허브 항만도시 단계에 있다. 아직 멀티모달 연계가 미흡하고 글로벌 공급사슬 관점에서 수직·수평 통합 및 국경간 협력은 미흡한 편이고, 항만과 도시가 연계되어 상생 발전하지 못하고 있는 실정이다. 또한 항만도시는 항만물류산업은 지원하고 있지만 스마트 시대에 적합한 스마트산업의 발달은 미흡한 편이다. 즉 현재 항만도시는 주변 항만의 화물을 주로 환적하며 배후지에는 항만과 연관된 항만산업이 발달하고, 도시도 비즈니스, 금융 등 고유의 도시 기능 중심으로 발전하고 있는 형태이다.

이에 한국형 스마트 항만도시의 발전 방향은 글로벌 허브 항만도시가 되도록 해운, 도로, 철도, 항공 등의 교통수단이 연계되고, 항만물류산업뿐만 아니라 스마트산업이 항만과 도시의 연결고리로 작동하여 항만과 도시가 상생 발전할 수 있도록 해야 한다.

한국형 스마트 항만도시는 스마트항만과 관련된 항만산업 및 디지털·로봇 산업이 배후지에 발전하고, 스마트 항만도시 개념 정립의 11개 기능(녹지, 혁신교육 클러스터, 스마트그리드 등)이 도시와 항만의 중간 버퍼 공간에 존재하고 스마트시티와 조화롭게 발전한다. 도로망은 항만과 도시과 분리되어 운영되고 육해공 복합운송체계가 안정화되어 있는 모습이다(그림 4-9 참조).

한국형 스마트 항만도시는 결국 시민의 삶의 질 향상을 위한 생활환경 개선과 도시 네트워크의 거점으로서의 역할도 지속적으로 수행해야 한다. 또한 글로벌 허브항만으로서의 확장을 위해 육해공 물류네트워크 연계뿐만 아니라 배후지가 탄탄하게 발전해야 한다. 이를 위해서는 도시공간과 항만공간의 지속가능 상생발전 관점에서 장기적인 비전과 실행 가능한 통합 계획(산업, 교육 클러스터, 거주환경, 도로계획 등)이 마련되어야 한다. 또한 스마트 항만도시는 기존 글로벌 허브 항만도시 모습에서 스마트산업 및 교육 클러스터, 스마트 에너지 그리드 등이 연계·강화되어야 한다.

〈그림 4-9〉 한국형 스마트 항만도시 발전 방향



자료: 저자 작성

2) 한국형 스마트항만과 스마트도시 연계 개념

일하는 세대가 항만도시를 이탈하는 것을 방지하기 위해서는 로테르담, 앤트워프, 함부르크 등과 같이 항만산업뿐만 아니라 스마트산업도 항만도시에 유치하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 설문조사 결과 도출된 한국형 스마트 항만도시 구성요소(표 4-15 참조)인 4개 대분류 11개 중분류를 조화롭게 배치하는 것이 필요하다.

한국형 스마트 항만도시는 항만도시에 거주하는 도시민의 안전·건강·복지 실현을 위해 거주환경 개선뿐만 아니라 문화·여가·교육을 위한 생활기반시설이 스마트하게 정비되어야 한다. 또한 항만도시민이 스마트 항만도시 산업과 연관된 디지털, 로봇 산업, 빅데이터, AI 분석 등에 종사할 수 있도록 거주민의 혁신기술 교육 클러스터가 조성되어야 한다.

한국형 스마트 항만도시는 국제물류 및 비즈니스 공간으로서 그 유용성과 부가가치가 한층 높아져서 항만물류 및 비즈니스를 위한 스마트 국제물류환경이 조성되어 사업하기 좋은 허브 항만 및 물류중심 이미지 변환으로 더 많은 글로벌 기업이 입주할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서는 해외기업들이 사업하기 용이한 제도 및 시설 환경 조성이 필요하다.

또한 다음 세대를 고려한 지속가능 성장뿐만 아니라 온실가스 제로배출 항만도시가 되기 위하여 신재생에너지 등 대체에너지자원을 적극적으로 활용하는 에너지 자립이 이루어져야 할 것이다. 항만과 도시 사이에는 충분하고 조화로운 녹지공간을 조성하여 항만도시가 걷고 싶은 공간으로 변모할 수 있도록 해야 한다.

스마트 항만도시는 '스마트항만-항만산업-스마트산업단지-스마트

그리드-교육혁신 클러스터-스마트시티산업(금융/비즈니스 등)-스마트시티'가 순차적으로 연계된 모습이다. 한국형 스마트 항만도시는 ⅰ) 사이버보안 문제가 해결되고, ⅱ) 실시간 추적 및 예측 가능성이 높은 초연결 물류가 실현되고, ⅲ) 항만도시가 필요로 하는 로봇, 자동화 장비, IoT 센서뿐만 아니라 빅데이터·AI 분석 알고리즘을 개발하고, ⅳ) 항만도시 양쪽에 배출가스가 적은 신재생에너지를 안정적으로 공급하며, ⅴ) 항만도시에 필요한 디지털 문해력이 높은 인재를 육성하고, ⅵ) 관련 법·제도 지원체계를 갖추고, ⅶ) 고객 맞춤형, 사람들을 만족시키는 라스트마일 서비스를 제공한다.

이러한 기능을 갖춤으로써 항만물류 관점에서는 국내외 고객의 니즈를 완벽하게 맞추고, 유연성이 높아지며, 실시간 제어 및 문제 해결이 가능하고, 지속가능성뿐만 아니라 고객이 원하는 서비스 적시 제공으로 항만도시 거주민의 만족도가 높아진다. 이로 인하여 궁극적으로 초연결·자율화된 항만도시, 쾌적하고 지속가능한 항만도시, 효율적인 항만도시, 안전하고 인간중심의 항만도시인 한국형 스마트 항만도시가 구현될 것으로 기대된다.

스마트 항만도시는 현재 항만과 도시가 정보 면에서 단절되고 항만과 도시가 분리해서 계획을 수립하고, 기존 항만산업 중심의 발달로 항만과 도시가 다른 목표를 향해 나아가고, 일하는 세대의 이탈이 발생하는 문제점이 해결된, 항만과 도시가 조화롭게 연결·발전한 형태이다. 즉 '스마트 항만도시'란 항만도시의 경쟁력과 삶의 질 향상을 위하여 건설 · 정보통신 기술 등을 융 · 복합하여 건설된 도시 및 항만 기반시설을 바탕으로 다양한 도시서비스 및 수출입 물류서비스를 제공하는 지속가능한 성장을 하는 항만도시를 말한다.

〈그림 4-10〉 한국형 스마트항만과 스마트도시 연계 개념도

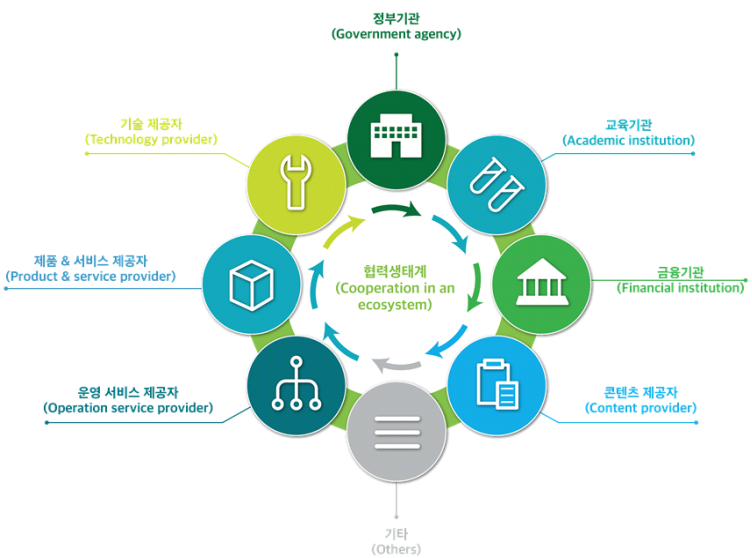


자료: 저자 작성

3) 한국형 스마트 항만도시의 스마트화 강화방안

성공적인 한국형 스마트 항만도시 구축·운영을 위해서는 항만과 도시에 대해 하나의 통합된 관점에서 목표를 설정하고 계획 수립 후 결과를 모니터링하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 우선 정부기관, 교육기관, 금융기관, 콘텐츠 제공자, 운영 서비스 제공자, 제품·서비스 제공자, 기술 제공자 등이 함께 참여하여 문제를 정의하고 해결하는 방법을 찾는 협력 생태계를 조성하는 것이 필요하다.

〈그림 4-11〉 한국형 스마트 항만도시 협력 생태계 조성



자료: Delloitte(2020. 6), p. 32 기반 저자 작성

스마트 항만도시의 스마트화는 기술기반 연결장치·센서 네트워크 설치·연계(1단계), 스마트 애플리케이션 및 데이터 분석 기능 강화(2단계), 최적 의사결정을 통한 적용·시행(3단계)이 되도록 해야 한다.

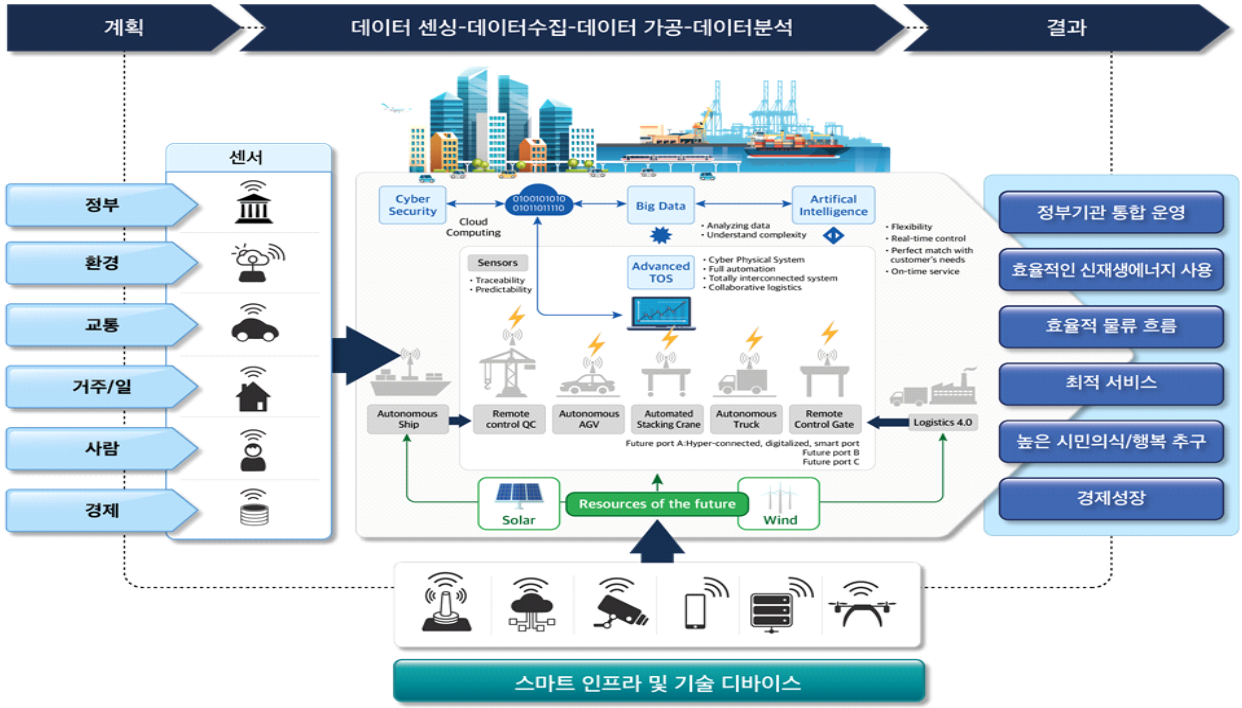
〈그림 4-12〉 한국형 스마트 항만도시의 스마트화 강화



자료: McKinsey(2018. 6), p. 2 기반 저자 작성

항만도시를 스마트화 3단계로 강화하기 위해서는 계획, 분석, 실행, 피드백 과정이 필요하다. 전체 항만도시 관점인 정부·지자체·공공기관, 환경, 교통, 거주·일, 사람, 경제 측면에서 스마트 항만도시의 목표를 먼저 세우고 목표 달성을 위한 계획을 수립한 후 IoT, 드론 등의 스마트인프라 및 기술 디바이스를 설치하여 데이터 센싱, 수집, 가공, 분석 등을 통해 결과를 모니터링해야 한다. 예를 들면 i) 정부기관 등은 계획·실행의 통합 운영 방안, ii) 환경 부문은 신재생에너지를 사용한 효율적인 전기 공급 방법, iii) 교통 부문은 센서 연계를 통한 물류 흐름의 효율성 확보 방안, iv) 거주지와 직장에서는 살고 일하기에 용이한 최적 서비스 제공 방법, v) 사람들이 높은 참여의식을 가지고 행복을 추구하게 하는 방안, vi) 경제 측면에서는 항만도시의 지속적인 경제성장 방안을 설정해야 한다. 그리고 설정된 항만도시 목표가 달성되었는지를 데이터 기반으로 결과를 모니터링하고 지속적으로 피드백·개선하는 체계를 마련해야 한다.

〈그림 4-13〉 한국형 스마트항만과 스마트도시 연계 운영방안



자료: 저자 작성

제 5 장

스마트 항만도시 연계관리 효과 분석

한국형 스마트 항만도시 구축은 투자비가 수반되는 사업으로 항만과 도시 등 관련기관의 협업과 국민들의 공감대가 중요하기 때문에 예상되는 효과를 가시화하는 것이 필요하다. 이에 본장에서는 2장과 3장의 분석 축인 교통흐름, 대기환경 개선, 에너지관리 3가지에 대한 효과를 분석했다.

제1절 항만도시 교통 및 공간 개선 효과

1. 개요

항만은 물류효율성에 중점을 두고 스마트화를 추진하고 있다. 항만 내부의 경우 자동화·지능화를 통해 화물 이동 및 장비 운영의 효율성을 제고하고, 동시에 항만 외부의 트럭과 정보연계를 통해 항만

게이트 및 배후교통망의 최적화를 추구하고 있다. 반면 도시는 도심의 교통혼잡을 줄이고 이용자의 교통편의 제공을 목적으로 스마트화를 추진하고 있으며, 대표적으로 자율주행셔틀, 교통수단 연계, 스마트 주차 등이 검토되고 있다. 즉, 항만과 도시의 스마트화는 각자의 목적에 따라 분리되어 추진되고 있다. 그러나 항만도시에서의 교통 및 물류체계는 항만과 도시의 영역 구분이 불가능할 뿐만 아니라 추구하는 목적이 상충될 수 있으므로 통합된 스마트화 및 관리가 필요한 부분이다. 이를 위해 가장 기본적으로 항만과 도시의 물류 및 교통정보 연계가 필요할 것으로 판단된다.

항만과 도시 간 물류 및 교통정보의 원활한 연계를 기반으로 스마트 항만도시가 구축될 경우 항만도시에서 고질적으로 발생해 왔던 교통사고 및 교통혼잡 등 도심지역의 교통문제 해결이 가능할 것으로 예상된다. 본 절에서는 항만과 도시의 정보연계 체계 유무에 따른 항만도시의 교통 흐름 분석을 통해 정보연계의 효과를 분석하고, 항만과 도시의 상생발전을 위한 교통 물류체계 수립방안과 협력방안을 제시하고자 한다.

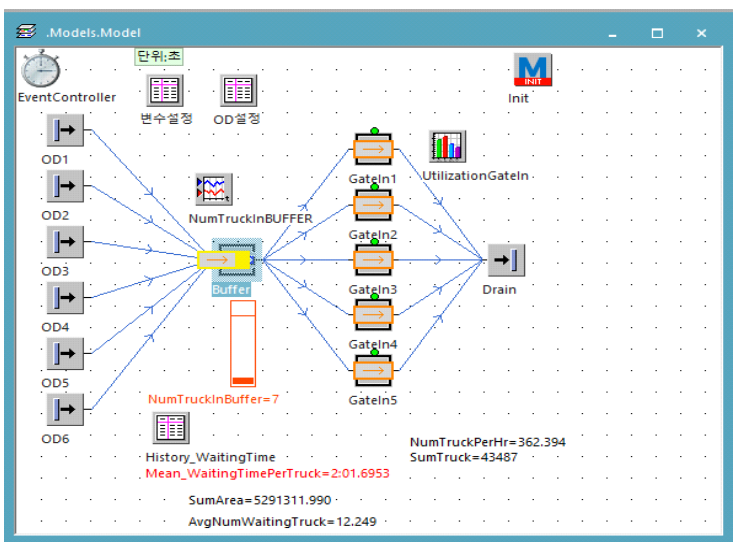
2. 시뮬레이션 기반 항만도시 교통 흐름 분석 모델

항만은 글로벌 공급사슬에서 해상의 해운과 육상의 내륙물류를 연계하는 중요한 역할을 수행한다. 연계물류를 수행하며 다양한 이해관계자들과 정보교환은 필수로 볼 수 있다. 시뮬레이션 모형은 항만과 항만 인근의 오프독컨테이너야적장(ODCY: Off-dock Container Yard)과의 연계물류를 대상으로 한다.

현재는 항만과 ODCY의 컨테이너 운송을 담당하는 트럭들이 항만 게이트 앞에서 대기하는 경우가 많고, 대기시간도 길다. 이는 컨테이너 물류를 다수의 트럭 운송사가 서비스하고 있어 상호 간 정보공유가 부족해 특정 시간대에 항만에 몰리면서 생기는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 제시하는 시뮬레이션 모형은 트럭 운송사 간 정보공유를 통해 도착시간을 분산시켜 항만 인근의 교통정체를 얼마나 절감할 수 있는지 파악하기 위해 개발됐다. 개발범위는 다수의 ODCY와 특정 항만 게이트 간 트럭을 활용한 컨테이너 운송이며, 트럭 대기는 〈그림 5-1〉에서 보이는 Buffer라는 공간에서 발생한다. ODCY에서 트럭 운송사들이 항만 게이트로 트럭을 보내는 특정 확률분포를 가정하고, 확률분포의 불확실성을 변경하며 트럭 배차의 치우침을 묘사했다. 트럭 대기가 발생하는 Buffer의 대기 트럭대수를 분석했다.

〈그림 5-1〉 시뮬레이션 개발 예시



자료: 저자 작성

시뮬레이션 입력은 게이트 처리시간과 ODCY 트럭 생성간격으로 나눠진다. 전자는 트럭이 게이트에 진입한 후 완전히 통과하는 시간으로, Beta 값이 45초인 Exponential 분포와 포아송(Poisson) 분포를 사용한다. 후자는 ODCY별 트럭을 출발시키는 간격이다.

트럭 생성간격을 다르게 함으로써 항만의 정체 상황을 다양하게 분석할 수 있다. 트럭 생성간격이 짧을수록 트럭 수가 증가하여 항만 정체를 증가시킬 수 있다. 이러한 항만 부하를 검증하는 지표로 시간당 평균 트럭 도착대수를 출력값으로 설정했다. 항만정체로 인한 비효율성은 버퍼(Buffer) 내 평균적으로 대기하는 트럭 대수 확인을 통해 가능하다. 어느 시점에 트럭이 집중해서 도착하는지는 트럭 대기 대수 추세로 확인 가능하다. 항만 게이트 앞에서 트럭 대기를 유발하기 위해서는 항만 게이트의 가동률이 높아야 가능하다. 이를 설정하기 위해 트럭 처리시간과 트럭 도착대수에 비례하여 게이트 가동률도 비례적으로 증가하도록 설정했다.

〈표 5-1〉 ODCY 트럭 생성간격 정의

ODCY명	트럭 생성분포	Parameter	비고
ODCY1	Exponential	60초	Beta
ODCY2	Poisson	60초	Lambda
ODCY3	Poisson	60초	Lambda
ODCY4	Poisson	60초	Lambda
…	…	…	…

자료: 저자 작성

3. 항만-도시 정보연계 효과 분석

1) 트럭 도착 정보의 공유 효과

Simens PLM Software Inc.사의 Tecnomatix Plant Simulation를 이용하여 시뮬레이션을 개발했다. 6개의 ODCY, 항만터미널에는 5개의 게이트(Gate)를 가지고 있는 항만으로 설정하고 컨테이너 트럭 물류에 대해 시뮬레이션을 시행했다. ODCY의 트럭 생성간격은 확률분포를 이용하여 트럭의 특정 시간대 쏠림 정체를 표현했다.

실험은 두 가지 시나리오를 설정해서 실시했다. 트럭 도착정보를 미공유하는 시나리오 1은 ODCY의 트럭 생성간격을 Exponential 분포와 포아송 분포를 활용하여 생성시킴으로써 트럭 도착이 특정 시간대에 쏠리도록 배차했다. 트럭 도착정보를 공유하는 시나리오 2는 ODCY의 트럭 생성간격을 Constant로 동일하게 생성해 트럭을 균등하게 도착하도록 배차했다.

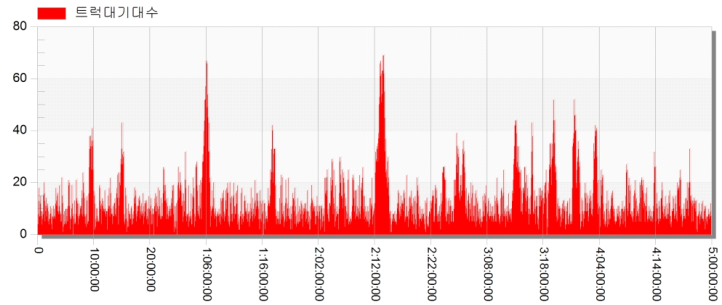
〈표 5-2〉 시나리오 설정내역

	내용	ODCY 트럭생성간격 확률분포
시나리오1	트럭도착정보 미공유	Exponential, Poisson
시나리오2	트럭도착정보 공유	Constant

자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과, 트럭 도착정보를 미공유하는 시나리오 1은 트럭이 불균등하게 도착하면서 게이트 진입 전에 다수의 트럭이 정체되는 것을 확인할 수 있다. 트럭 도착 정보를 공유하는 시나리오 2는 시나리오 1보다는 게이트 앞에서의 정체가 심하지 않은 것으로 나타났다. 시나리오1의 최대 트럭 대기대수는 75대이고 평균 트럭 대수는 12.249대이다.

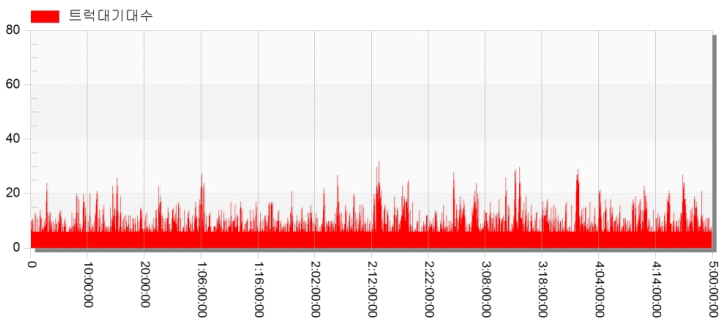
〈그림 5-2〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 도착정보 미공유 시나리오



자료: 저자 작성

이와 달리 시나리오 2(트럭 도착 정보 공유)의 최대 트럭 대기대수는 35대이며, 평균 트럭 대수도 9.126대로 정보를 공유하지 않은 시나리오 1보다는 트럭 대기줄이 약 25% 정도 적은 것으로 나타났다.

〈그림 5-3〉 시뮬레이션 결과 – 트럭도착정보 공유 시나리오



자료: 저자 작성

2) 항만 게이트 통과속도 개선 효과

건설이 완료되어 운영되고 있는 항만도시의 경우 항만도로의 증설, 컨테이너 터미널 게이트 진입로 증설 등이 불가능할 뿐만 아니라 현 상황에서 트럭 도착이 집중되는 시간대를 분산하기가 쉽지 않다.

이러한 상황에서 항만도로의 혼잡도를 개선하는 방법으로 터미널 게이트의 스마트·디지털화를 고려해 볼 수 있다. 예를 들면 터미널 게이트에서 트럭 번호, 컨테이너 번호, 운전자 ID 카드 등을 광학문자 인식(OCR: Optical Character Recognition) 등을 통해 게이트 통과 시 자동인식하게 해 트럭의 게이트 통과속도 개선이 가능하다.

시뮬레이션 설정에서 버퍼 공간을 세분화하여 Node 1은 게이트 진입로, Node 2는 편도 4차선 구간, Node 3은 편도 2차선 구간으로 터미널 진입 전 트럭으로 인하여 정체가 자주 발생하는 구간 약 4.8km을 설정했다. Node 4~Node 6은 일반 도로구간으로 ODCY와 항만도로 진입 전 5km 이전 단계로 설정했다.

실험은 두 가지 시나리오를 설정해서 실시했다. 시나리오 1은 게이트 통과시간이 50초인 현재 항만 게이트이고, 시나리오 2는 게이트 통과시간이 10초인 스마트항만 게이트이다.

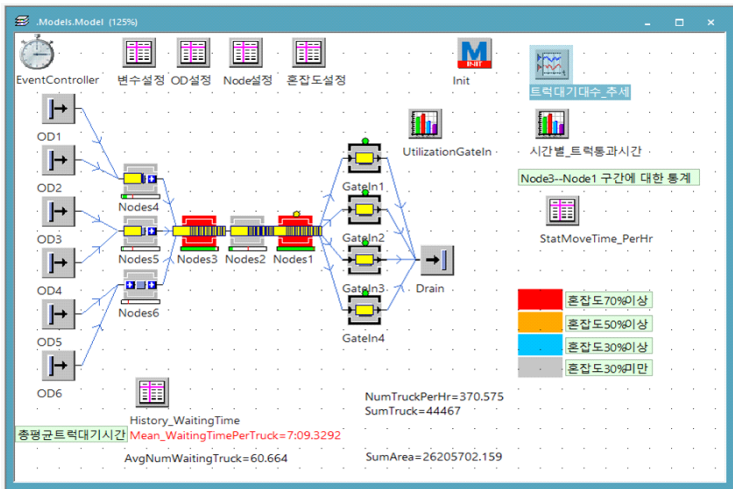
〈표 5-3〉 시나리오 설정내역

	내용	게이트 통과속도
시나리오1	현재 항만 게이트	50초
시나리오2	스마트항만 게이트	10초

자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과, 현재 항만 게이트인 시나리오 1(통과속도 50초)에서 Node 1~Node 3인 터미널 진입 전 4.8km인 항만도로는 게이트 구간(Node 1)과 편도 2차선 터널 구간(Node 3)의 혼잡도가 70% 이상으로 나타났다.

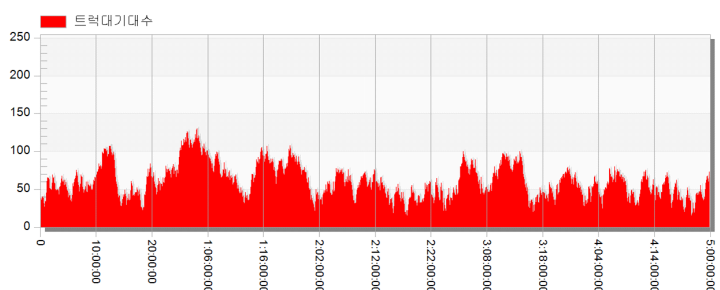
〈그림 5-4〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만



자료: 저자 작성

시나리오 1(현재 항만 게이트)의 경우에는 게이트의 처리 속도에 따른 도로 혼잡도로 트럭의 평균 대기대수는 60.644대이다.

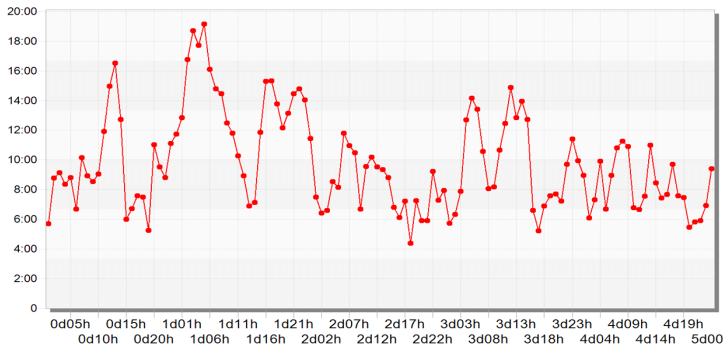
〈그림 5-5〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만 게이트 트럭 대기시간



자료: 저자 작성

시나리오 1(현재 항만 게이트)의 경우에는 4.8km인 항만도로(Node 1~Node 3)의 트럭 1대당 통과시간이 최대 약 20분 정도 소요된다. 이 구간의 시나리오 1의 평균 트럭당 정체시간은 약 7분 정도이다.

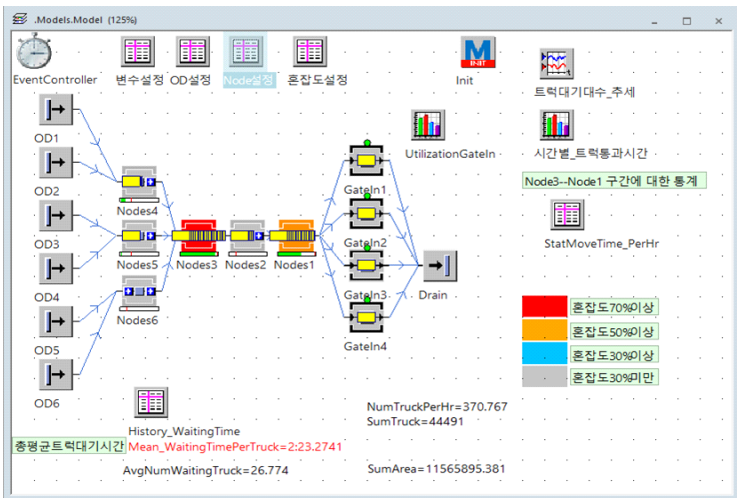
〈그림 5-6〉 시뮬레이션 결과 – 현재 항만 시간별 트럭 통과시간



자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과, 스마트항만 게이트인 시나리오 2(통과속도 10초)에서 Node 1~Node 3인 터미널 진입 전 4.8km인 항만도로는 게이트 구간(Node1)의 혼잡도가 50% 이상이고, 편도 2차선 터널 구간(Node 3)의 혼잡도가 70% 이상으로 나타났다. 시나리오 1에 비해 게이트 구간의 혼잡도가 개선되었다.

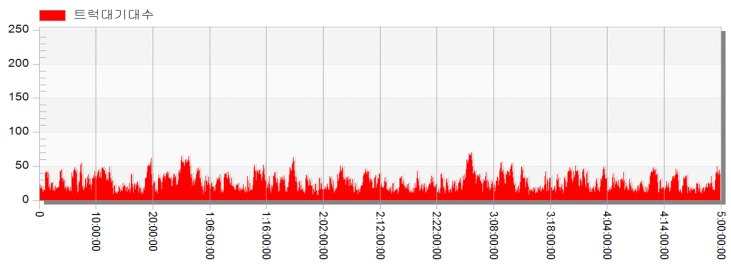
〈그림 5-7〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만



자료: 저자 작성

시나리오 2(통과속도 10초)의 스마트항만 게이트에서는 평균 트럭 대기대수가 35대이며, 평균 트럭 대수도 26.774대로 시나리오 1보다는 트럭 대기줄이 약 44% 정도 적은 것으로 나타났다.

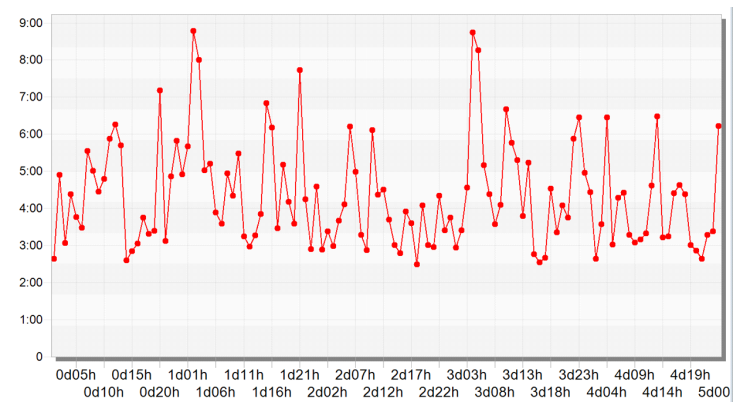
〈그림 5-8〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만 게이트 트럭 대기시간



자료: 저자 작성

시나리오 2(스마트항만 게이트)의 경우에는 4.8km인 항만도로(Node 1~Node 3)의 트럭 1대당 통과시간이 최대 약 9분 정도 소요되어 시나리오 1보다 45% 정도 통과시간이 단축되는 것으로 나타났다. 이 구간의 시나리오 2의 평균 트럭당 정체시간은 약 2분 정도로 시나리오 1에 비해 트럭당 5분 정도 단축된다.

〈그림 5-9〉 시뮬레이션 결과 – 스마트항만 시간별 트럭 통과시간



자료: 저자 작성

3) 항만-도시 항만도로 계획 시 협업 효과

컨테이너 터미널 건설 당시 항만과 도시가 협업하여 교통량, 교통흐름 분석 등을 통한 터미널 게이트 진입로 설계가 이뤄지지 않아 발생하는 문제점을 파악하기 위해 시뮬레이션을 실시했다. 터널 구간(편도 2차선 Node 3)부터 항만진입로(편도 4차선, Node 2), A사의 게이트(4개, Node 1) 진입로로 설정하고 Node 1의 대기 트럭 흡수공간 여부에 따른 항만도로 구간의 정체 정도 차이를 분석했다.

실험은 두 가지 시나리오를 설정해서 실시했다. 트럭의 게이트 통과시간이 60초인 경우, 대기 트럭 흡수공간이 없는 시나리오 1과 대기 트럭 흡수공간이 있는 시나리오 2를 비교했다.

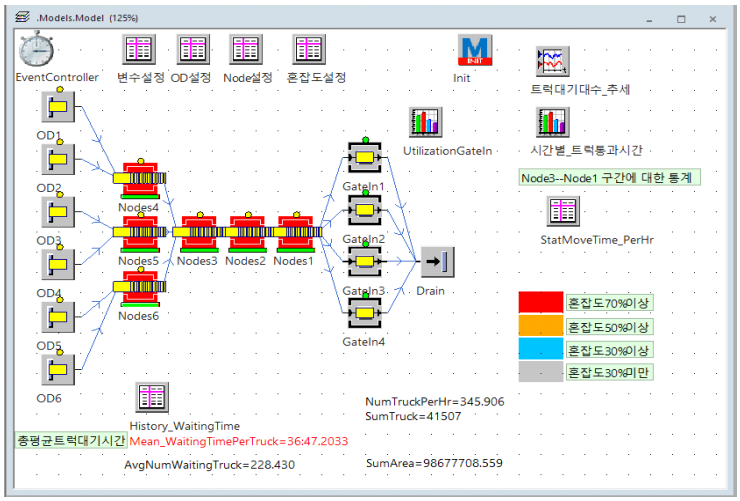
〈표 5-4〉 시나리오 설정내역

	내용	게이트 트럭 대기공간 용량
시나리오 1	대기 트럭 대기공간 부족	25대
시나리오 2	대기 트럭 대기공간 확보	50대

자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과, 게이트 진입로의 트럭 대기공간이 25대에 불과한 터미널의 트럭 1대당 게이트 통과시간이 60초인 시나리오 1은 항만도로 전체 구간의 혼잡도가 70% 이상으로 도로 정체가 항만 인근뿐만 아니라 5km 이상 떨어진 도로에까지 영향을 준다.

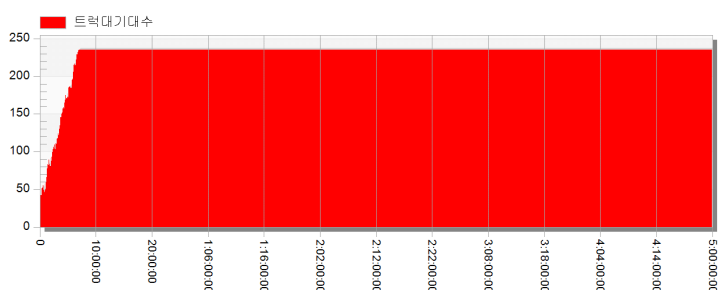
〈그림 5-10〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족



자료: 저자 작성

게이트 진입로에 트럭 대기공간이 부족한 시나리오 1인 Node 1~Node 3 구간의 평균 트럭 대기대수는 228.43대이다.

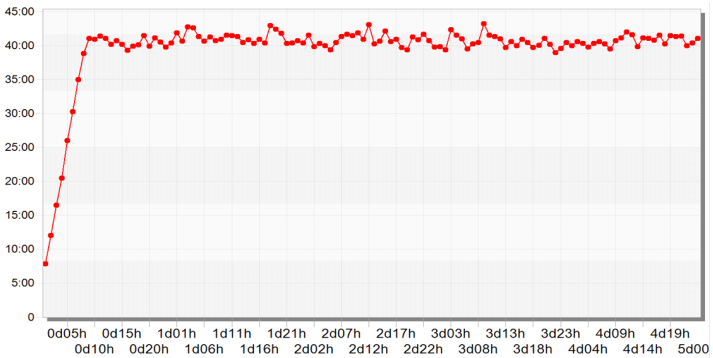
〈그림 5-11〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족(대기대수)



자료: 저자 작성

시나리오 1(트럭 대기공간 부족)에서 4.8km인 항만도로(Node 1~Node 3)의 트럭 1대당 통과시간은 최대 약 45분 정도 소요되고 평균 트럭당 정체시간은 약 36분 정도이다.

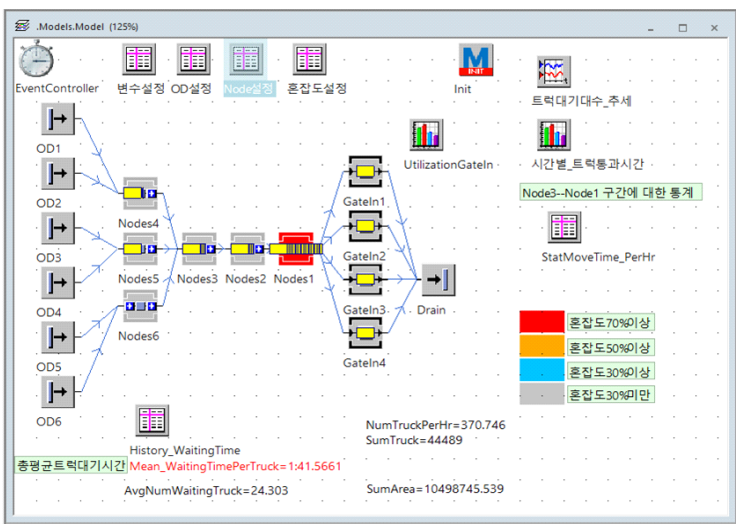
〈그림 5-12〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 부족(대기시간/1대)



자료: 저자 작성

시뮬레이션 결과, 트럭 1대당 게이트 통과시간이 60초일지라도 게이트 진입로의 트럭 대기공간이 50대인 시나리오 2의 경우에는 게이트 진입로인 Node 1의 혼잡도가 70%인 것을 제외하고는 나머지 도로구간의 정체는 일어나지 않는다.

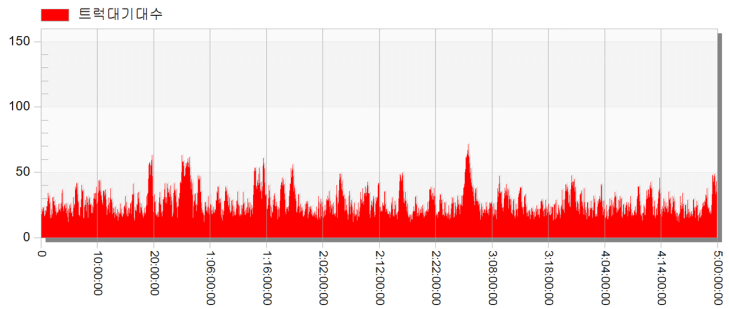
〈그림 5-13〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보



자료: 저자 작성

게이트 진입로에 트럭 대기공간이 50대로 어느 정도 공간이 있는 시나리오 2에서 Node 1~Node 3 구간의 평균 트럭 대기대수는 24.303대로 시나리오 1의 10% 수준으로 떨어진다.

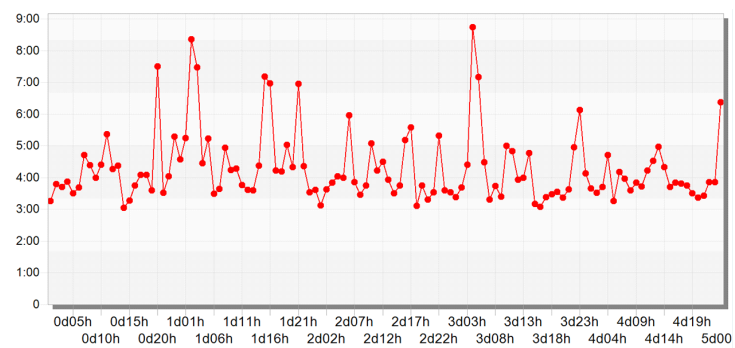
〈그림 5-14〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보(대기 대수)



자료: 저자 작성

시나리오 2(트럭 대기공간 확보)의 4.8km인 항만도로(Node 1~Node 3)의 트럭 1대당 통과시간은 최대 약 9분 정도가 소요되고 평균 트럭당 정체시간은 약 1분 41초 정도로 시나리오 1보다 약 34분 정도 정체시간이 줄어든다.

〈그림 5-15〉 시뮬레이션 결과 – 트럭 대기공간 확보(대기시간/1대)



자료: 저자 작성

4. 소결

시뮬레이션 결과 항만-도시 간 교통 흐름 정보 공유를 통해 항만의 트럭 도착정보를 파악하고, 항만-도시 주체 간 교통 흐름 정보에 대한 협업 후 항만도로 및 게이트 진입로 용량을 설정하는 것이 중요한 것으로 나타났다. 이뿐만 아니라 현재 인프라를 변경할 수 없는 경우에는 문제가 발생하고 있는 터미널 게이트의 스마트화를 통해 항만도로의 정체 문제를 해결할 수 있는 것으로 나타났다. 터미널 게이트의 스마트화는 신규 투자로 인해 터미널 운영사에 부담이 될 수 있고, 항만-도시 간 협업 계획은 신규 항만 건설 시 적용 가능하다. 그러므로 투자의 최소화 및 단기간의 실현 가능성을 위해 항만-도시 간 교통 흐름 필수정보 공유를 통한 항만 내 트럭 도착정보 파악만으로도 항만도로의 교통정체를 해결할 수 있는, 〈표 5-5〉의 트럭 출발부터 항만 도착 등의 정보연계를 우선적으로 시범 실험해보는 것이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 5-5〉 스마트항만-도시 물류효율성 관련 정보연계 예시

구분	AS-IS	TO-BE	관련 기관
트럭 출발 (화주)	• COPINO에 출발신고	• COPINO에 출발신고	• 항만 및 트럭운영시스템 (해양수산부)
	-	• 빠른 길 찾기 및 항만도착 시간 예상	• 국가교통정보센터 (국토교통부)
	-	• 항만 선박 하역시간 예상	• 항만운영시스템 (해양수산부)
	• 트럭화주 공장에서 운전자 임의 출발	• 트럭은 화주공장에서 대기시간을 최소화할 수 있는 시간대에 출발 가능	-
도로 운송	-	• 선박 하역시간 및 트럭 도착 예정시간 알림	• 항만운영시스템 (해양수산부) • 국가교통정보센터 (국토교통부)

구분	AS-IS	TO-BE	관련 기관
도로 운송	-	• 지연문제 발생 시 트럭운전자에게 알람, 지정된 트럭 운전자의 중간 휴게소 휴식 권고	• 항만운영시스템 (해양수산부) • 국가교통정보센터 (국토교통부)
	-	• 긴급상황 발생 시 신호등 신호제어	• 경찰청 • CCTV 통합관제센터 (행정안전부/지자체)
항만 도착	• 트럭운전자 항만 내 정보 없이 대기	• 도착 즉시 항만 내 트럭 대기장소로 이동 가능	• 항만운영시스템 (해양수산부) • CCTV통합관제센터 (해양수산부)
	• 장시간 대기 후 트럭에 컨테이너 상차	• 대기시간 없이 작업지시 및 컨테이너 상차 가능	• 항만운영시스템 (해양수산부)
트럭 출발 (항만)	• 트럭이 화주 공장으로 운전자 임의 출발	• 교통물류 흐름을 고려하여 트럭이 출발하여 화주공장까지 최적시간 소요	• 국가교통정보센터 (국토교통부)
	• 교통체증으로 화주공장에 지연 도착	• 보다 빠른 시간에 화주공장 도착, 비용 절감	• 국가교통정보센터 (국토교통부)

자료: 이언경 외(2019. 11)

제2절 항만 배출 미세먼지 관리방안 및 감축 효과

1. 개요

본 절에서는 선박으로부터 얼마나 많은 미세먼지가 배출되어 인근 항만도시에 영향을 미치는지 추정하고자 한다. 이를 위해 먼저 선박의 이동정보를 포함하고 있는 AIS(Auto Identification System) 기반 선박이 사용하고 있는 연료소모량을 위·경도 구역별로 추정한다. 다음으로 추정된 구역별 연료소모량에 미세먼지 배출계수를 적용하여 구역별 미세먼지 배출량을 계산한 후 대기확산모형을 적용하여 우리

나라의 대표적인 항만도시인 부산항의 대기오염 영향 분석을 한다. 마지막으로 스마트기술 기반의 항만도시로 전환 시 미세먼지를 얼마나 줄일 수 있는지 효과를 분석하고자 한다.

2. 항만도시의 미세먼지 배출량 분석

1) AIS 기반 연료소모량 추정

AIS는 선박의 위치 및 이동정보를 3초에서 3분 주기로 전송하는 시스템으로 대부분의 선박에 설치되어 있다. 이를 통해 선박 간 충돌과 같은 안전 관련 상황을 파악하는 것이 주목적이지만 최근에는 선박 이동분석을 통한 해운시황 예측, 선박 대기오염 추정과 같은 분야에도 활용되고 있어 AIS의 활용범위가 점차 확대되는 상황이다. 본 연구에서도 이러한 AIS 데이터를 추적해 선박의 이동을 분석하여 연료소모량을 추정하였으며, 이를 위해 강무홍·이언경·이기열(2020)의 연구[105]에서 개발된 모형[106]을 사용했다.

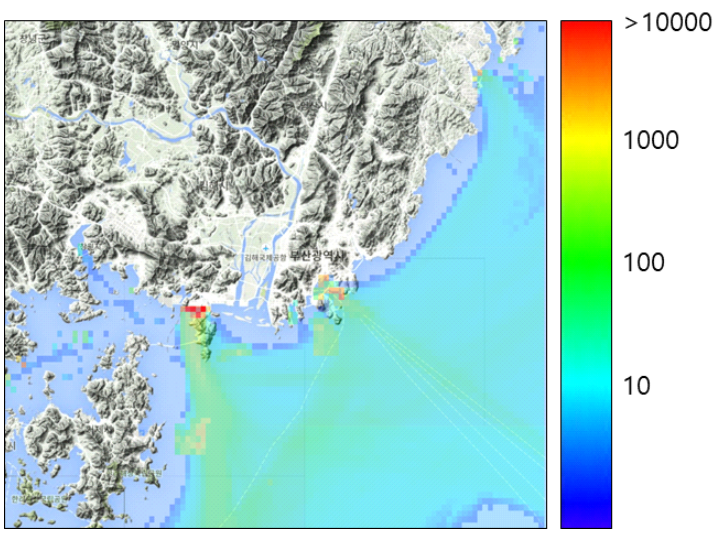
IHS Markit의 2019년도 전 세계 컨테이너 선박의 AIS 데이터를 기반으로 분석했으며, 5,000척 이상의 선박을 대상으로 했다. 분석대상지인 부산지역을 모두 포함하기 위해 김해국제공항(35°10'21.3"N, 128°56'48.8"E)을 중심으로 가로, 세로 100km 지역의 연료소모량을 추정했다. 해상도는 가로, 세로 0.01도(부산 기준 가로 약 0.889km, 세로 약 1.11km)로 나누어 구간별로 연료소모량을 추정했다.

해당 지역에서 사용된 연료소모량은 Corbett *et al.*(2009)의 식을

105) 강무홍 외(2020. 10), pp. 28-32.
106) Corbett *et al.*(2009)에서 사용한 속도, 이동거리, 엔진 출력 기반의 연료소모량 계산식 사용.

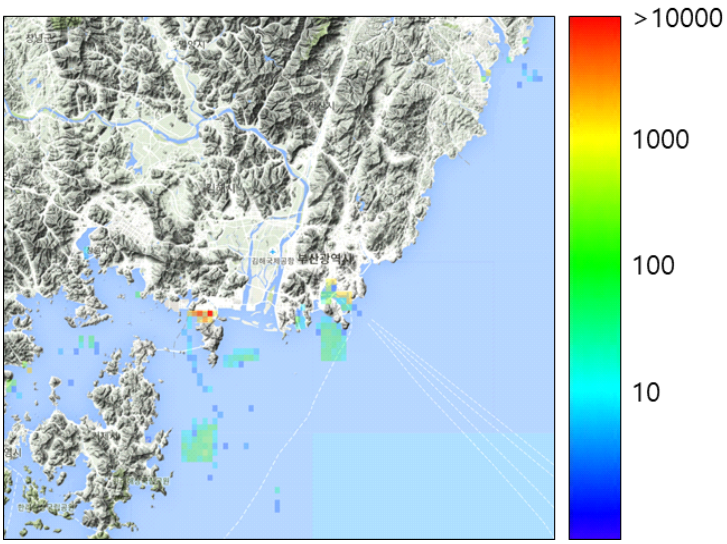
통해 총 31만 4,909톤으로 추정되었으며, 주요 지역별 배출량은 다음의 〈그림 5-16〉과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 대부분의 연료는 부산신항과 부산항 북항 컨테이너 터미널이 있는 지역에서 사용되는 것으로 분석되었으며, 이는 선박들이 정박 중 사용하는 보조 엔진에 의해 대부분 사용되고 있기 때문이다. 특히 가장 많은 연료를 소모하는 지역은 부산신항 1-1단계와 2-2단계가 포함된 지역으로 위·경도 0.01도(약 0.89km×1.11km) 기준으로 2만 4,452톤이 소모되는 것으로 분석되었다. 〈그림 5-17〉에서는 정박 및 묘박 중 사용되는 연료량을 표시하고 있으며, 운항 중 사용된 연료량을 포함하고 있는 〈그림 5-16〉과 비교해 보면 정박 및 묘박 시 많은 연료가 사용되고 있음을 알 수 있다. 따라서 AMP와 같은 스마트포트 기술이 적용되면 정박 시 연료사용 및 배기가스 배출을 줄일 수 있어 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

〈그림 5-16〉 부산지역 구역별 선박 연료소모량 추정결과(전체)



자료: 저자 작성

〈그림 5-17〉 부산지역 구역별 선박 연료소모량 추정결과(정박 및 묘박)



자료: 저자 작성

2) 미세먼지 배출량 분석

본 연구에서는 미세먼지를 포함하는 배출가스 배출량 분석을 위해 앞에서 추정된 연료소모량에 배출가스별 배출계수를 곱해 계산하였다. CO_2를 제외한 선박 대기오염 배출계수는 유럽환경청(EEA: European Environment Agency)에서 제공하는 값을 적용하였다. CO_2는 Corbett *et al.*(2009) 및 Chang *et al.*(2013)의 연구에서 사용한 것처럼 86.45%로 정의된 연료의 탄소계수와 탄소-이산화탄소 변환계수인 44/12를 곱하여 추정하였다.[107]

분석결과 부산항 내에서 약 31만 4,909톤의 연료가 사용되고 있으며, 이를 통해 배출되는 배기가스는 BFO(Bunker Fuel Oil) 기준으로

107) 강무홍 외, 앞의 책, p. 78.

NOx 1만 9,365톤, SOx 6,298톤, NMVOC 633톤, PM 1,461톤, CO 2,330톤, CO_2 99만 8,262톤으로 추정되었다. 특히 미세먼지(PM)의 경우는 1,461톤이 선박에서 배출된 것으로 추정되었으며, MDO(Marine Diesel Oil)를 사용할 경우 약 1/3 수준인 456톤으로 추정되어 미세먼지를 줄이기 위해서는 ECA 지정을 통한 LSFO, MDO 등의 친환경 연료 사용이 이산화탄소를 포함한 미세먼지 등 대기오염 감소에 효과가 있을 것으로 사료된다.

〈표 5-6〉 부산항 선박 배기가스 배출량 추정결과

단위: 톤

종류	연료소모량	NOx	SOx	NMVOC	PM	CO	CO_2
BFO	314,909	19,365	6,298	633	1,461	2,330	998,262
MDO		19,181		671	456		

자료: 저자 작성

3. 항만도시의 대기오염 영향 분석

본 항에서는 앞의 2항에서 분석된 부산 인근 미세먼지 배출량을 기반으로 대기확산분석(Air Dispersion Analysis)을 실시하였다. 대기확산모형 중 가우시안 모형기반 적용이 다른 모형에 비해 상대적으로 용이하여 많이 사용되고 있다. AERMOD와 CALPUFF는 가우시안 모형 중 활용도가 가장 높은 분석도구 중 하나이다. AERMOD와 CALPUFF은 미국 환경청에서 환경영향평가(Environmental Impact Assessment) 시에 권장되는 분석도구이기도 하다.

AERMOD는 정상상태의 가우시안 플럼 모형(steady-state Gaussian plume model)으로 바람의 속도와 방향이 매시간 동일하다는 조건에서 대기오염물질의 공간적 확산을 분석한다. AERMOD는 바람의 세

기가 정상상태이고, 대기오염물질의 확산 범위가 50km 이내일 경우에 적합한 모형이다.[108]

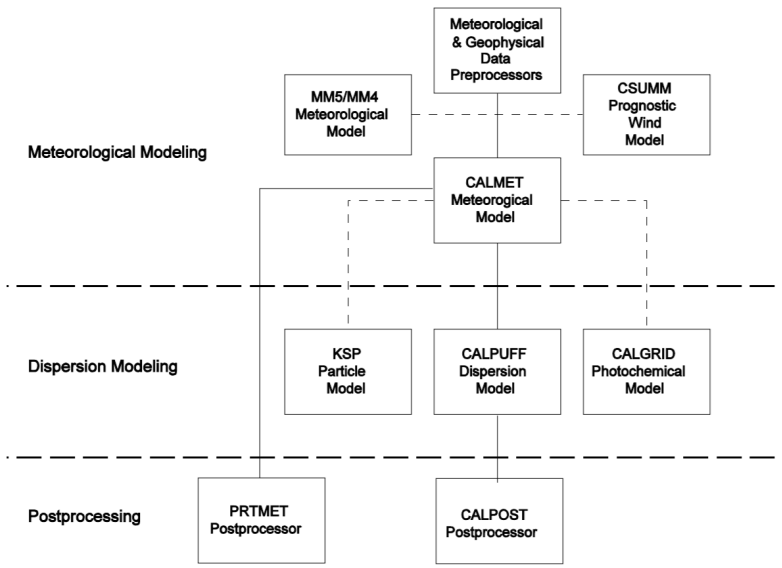
반면에 CALPUFF는 풍향과 풍속의 시간대별 변화에 따른 대기오염물질의 공간적 확산에 대한 분석이 가능하다. 또한 CALPUFF는 약 200km까지 대기오염물질의 장거리 이동에 대한 분석이 가능하다. CALPUFF는 비정상 라그랑지안 가우스안 퍼프모형(non-steady-state Lagrangian Gaussian puff model)을 기반으로 개발되어 해안지역, 고층건물 등 바람의 변화가 큰 지역에서의 대기확산 분석이 가능하다.[109]

따라서 본 연구에서는 선박 대기오염 배출량의 대기질 확산분석을 위해 해안지역 분석에 적합한 CALPUFF를 활용하였다.

CALPUFF은 기상 모델링이 수행되는 CALMET, 오염원에서 발생하는 대기오염물질의 확산 모델링이 수행되는 CALPUFF, 확산 모델링의 결과를 분석하는 과정인 CALPOST 등 크게 3단계의 모델링 구조로 구성되어 있다.[110]

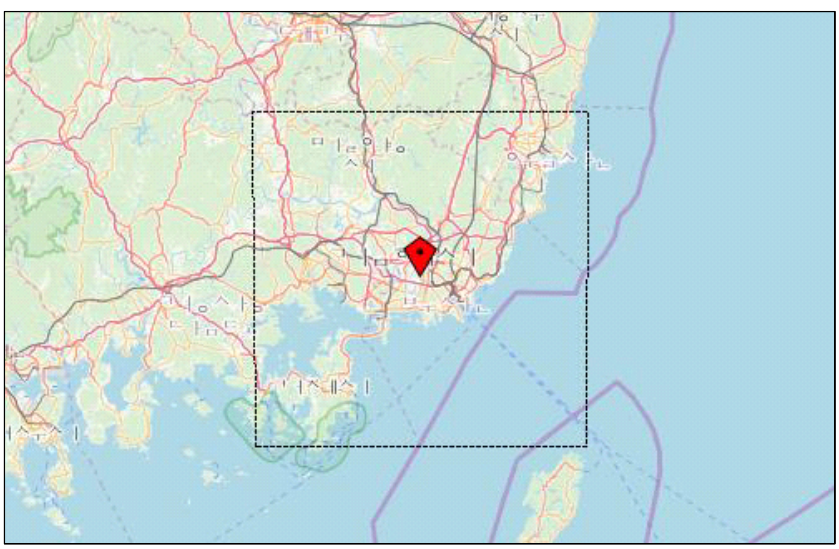
108) 한진석 외(2016), pp.56-57.
109) 위의 책, p. 44.
110) Scire, J. S. *et al.*(2000), p. 3-4.

〈그림 5-18〉 CALPUFF 모델링 구조



자료: Scire *et al.*(2000), pp. 1-4

〈그림 5-19〉 대기확산분석 적용 범위

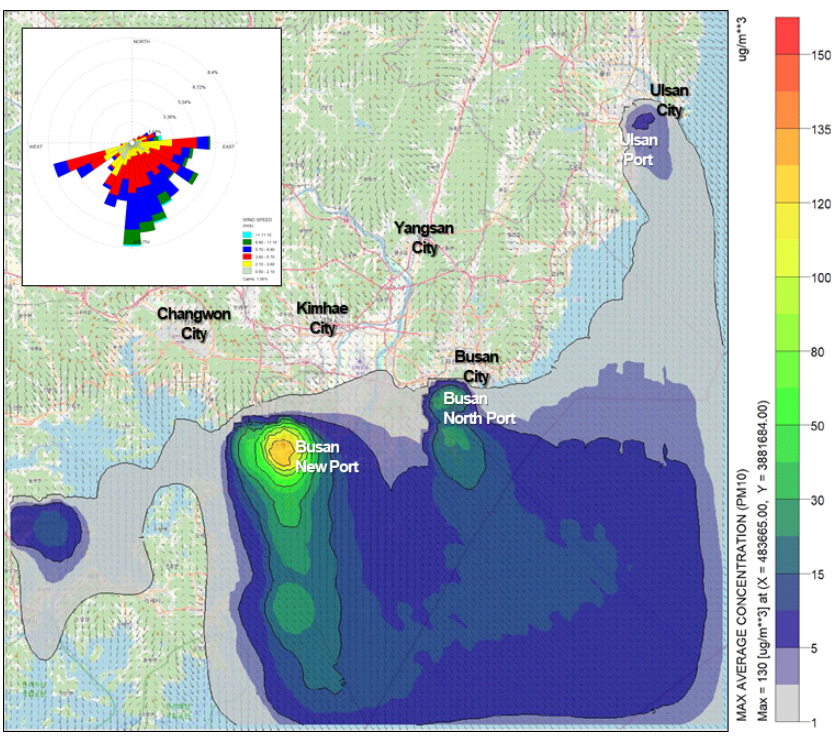


자료: Lakes Environmental Software 견적서 내용(2020. 6. 3)

실험은 바람의 이동이 상이한 1월과 4월, 7월, 10월 각각 1개월 동안 실시하였으며, 네 가지 모두 상이한 결과가 도출되었다.

먼저 〈그림 5-20〉은 2019년 1월 한 달 동안 대기확산분석 결과로 부산신항과 부산항 북항을 중심으로 가장 많은 미세먼지가 생성 및 확산되었으며, 최대평균농도(max average concentration)는 130㎍/㎥으로 부산신항에서 발생된 것으로 분석되었다. 또한 그림 좌측위 풍배도에서 볼 수 있듯이 북서풍의 영향으로 인해 발생되는 미세먼지가 해안 방향인 남동쪽으로 많이 확산되어 비교한 4개월 중 도시에 가장 영향을 적게 주는 것을 확인할 수 있었다.

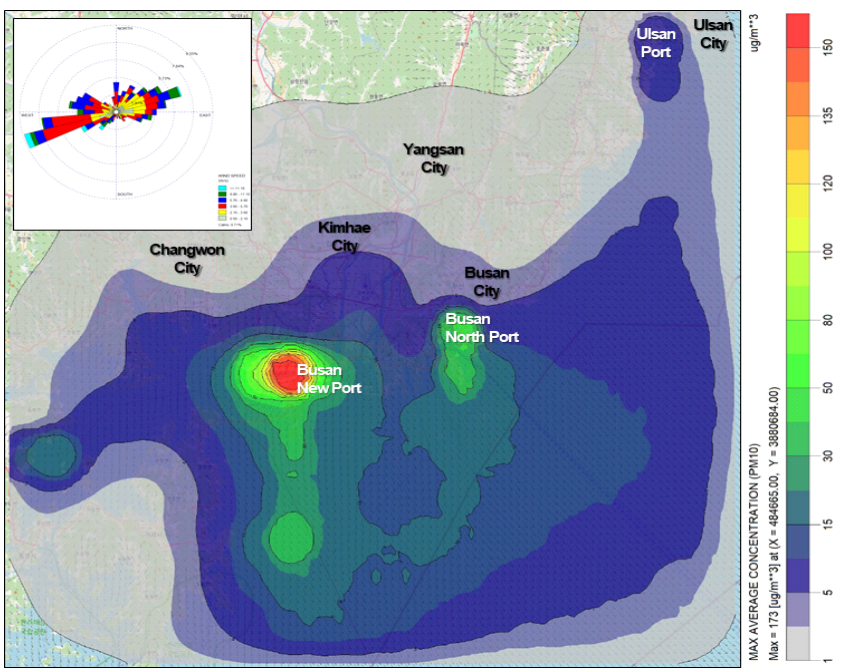
〈그림 5-20〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 1월)



자료: CALPUFF 기반으로 저자 작성

〈그림 5-21〉은 2019년 4월 한 달 동안 대기확산분석 결과로 앞의 1월 결과와 마찬가지로 부산신항과 부산항 북항을 중심으로 가장 많은 미세먼지가 생성 및 확산되었으며, 부산신항의 경우 최대 173㎍/㎥의 미세먼지가 발생한 것으로 분석되어 비교한 4개월 중 가장 높은 것으로 분석되었다. 한국환경공단에서 발표하고 있는 미세먼지 농도범위 중 '매우나쁨(151㎍/㎥ 이상)'에 해당되는 수치이다. 또한 1월과 달리 북풍의 영향을 적게 받아 선박 기인 미세먼지가 부산, 김해 등 도심에 영향을 주는 것으로 나타났다.

〈그림 5-21〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 4월)

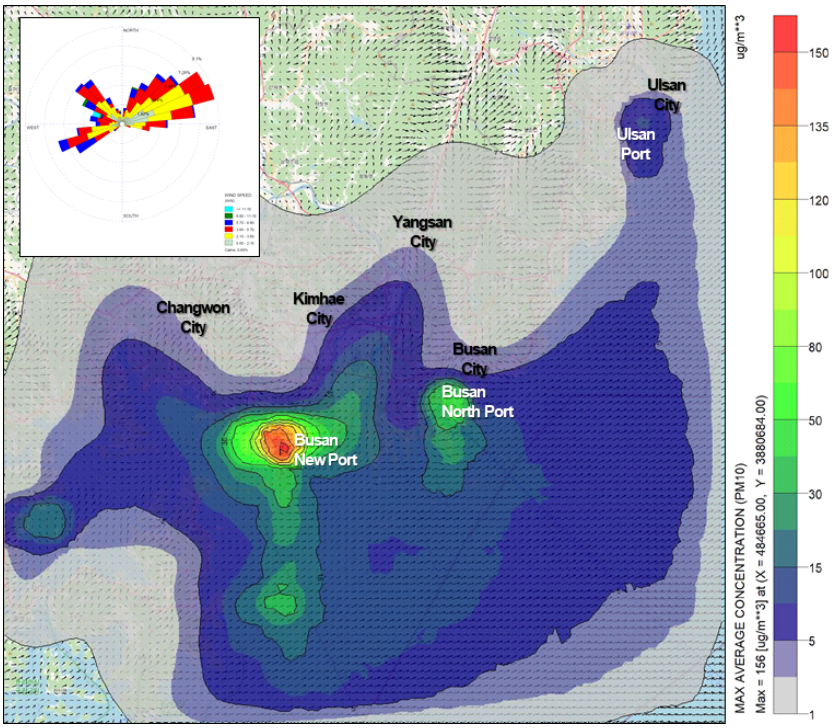


자료: CALPUFF 기반으로 저자 작성

〈그림 5-22〉는 7월 한 달 동안 대기확산분석 결과로 부산신항의 경우 최대 156㎍/㎥의 미세먼지가 발생한 것으로 분석되었다. 특히

7월은 남서풍과 남동풍의 영향을 많이 받아 부산시를 비롯한 양산시, 김해시, 창원시 등 항만 인근도시에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 분석되었다.

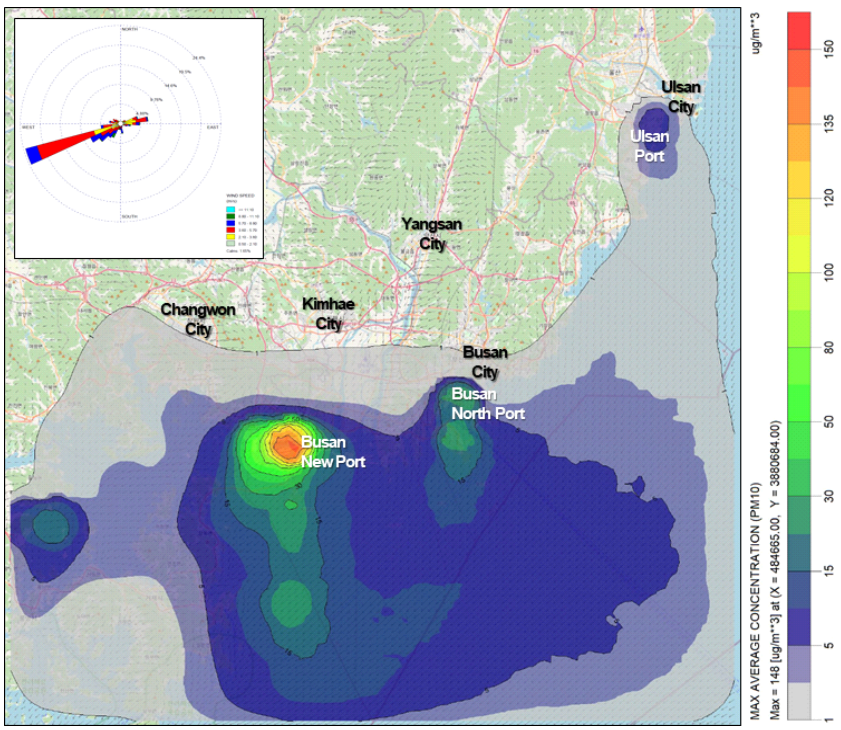
〈그림 5-22〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 7월)



자료: CALPUFF 기반으로 저자 작성

마지막으로 〈그림 5-23〉은 10월 한 달 동안 대기확산분석 결과로 부산신항의 경우 최대 148㎍/㎥의 미세먼지가 발생한 것으로 분석되었다. 10월은 주로 동풍이 불어 앞의 7월보다는 도시에 영향을 덜 주는 것으로 분석되었다.

〈그림 5-23〉 부산항 미세먼지의 대기확산분석 결과(2019년 10월)



자료: CALPUFF 기반으로 저자 작성

4. 항만도시의 스마트 미세먼지 관리 기술 및 감축 효과

본 항에서는 항만도시의 스마트화 전후를 비교함으로써 미세먼지 관리방안 및 감축 효과에 대해 분석하고자 한다.

항만에 스마트 신기술을 도입함으로써 미세먼지 발생을 감축할 수 있는 대표적인 방안으로는 크게 항만 AMP 설치, 스크러버 설치, LNG 추진선 도입 등 세 가지가 있다.

먼저 항만 AMP 설치는 선박이 항만 정박 중 사용하는 연료를 100%

줄일 수 있기 때문에 미세먼지 배출을 획기적으로 줄일 수 있는 기술이다. 하지만 접안하는 선박에도 AMP 수급시설이 설치되어 있어야 전기를 공급받을 수 있어 아직까지는 우리나라를 비롯한 많은 항만들이 설치하지 않고 있다.

두 번째로 선박이 발생한 배기가스를 후처리하는 방법은 습식방식(WTS: Water Treatement Systems)의 스크러버(Scrubber), 배기가스 재순환 기술(EGR: Exhaust Gas Recirculaton), 선택적 촉매환원 기술(SCR: Selective Catalytic Reduction) 등이 있다.[111] 습식 스크러버는 HFO(황함유량 2.6%)의 경우 미세먼지는 79%(혼합 습식 스크러버는 80%), 황산화물은 98%를 감축시키고[112], 질소산화물은 최소 5% 정도[113]를 감축시킨다.

마지막으로 LNG 추진선은 주사용 연료가 LNG인 선박으로 기존 대비 질소산화물은 88%, 미세먼지는 99%, 황산화물은 100%까지 줄일 수 있다[114]고 하며, 이러한 세 가지 기술의 감축 효과[115]는 〈표 5-7〉과 같다.

〈표 5-7〉 항만도시의 스마트 미세먼지 관리기술 감축 효과(부산 기준)

단위: 톤

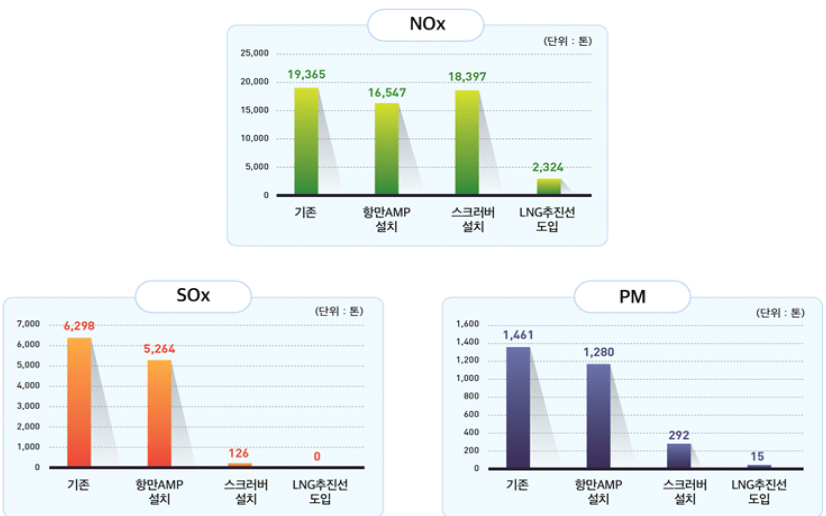
적용기술	배기가스 배출량		
	NOx	SOx	PM
기존	19,365	6,298	1,461
항만 AMP 설치	16,547 (14.6% 감축)	5,264 (16.4% 감축)	1,280 (12.4% 감축)
스크러버 설치	18,397 (5% 감축)	126 (98% 감축)	292 (80% 감축)
LNG 추진선 도입	2,324 (88% 감축)	0 (100% 감축)	15 (99% 감축)

자료: 저자 작성

111) MAN Diesel & Turbo(2012), p. 5.
112) Corner *et al.*(2020. 11), p. 16; ICCT(검색일: 2020. 11. 19)
113) Sun *et al.*(2020), p. 7.
114) Lee(2015. 6. 18), p. 10.
115) 모든 선박이 해당 기술을 설치했다고 가정했을 경우의 배기가스 배출량.

〈그림 5-24〉 항만도시의 스마트 미세먼지 관리기술 감축 효과(부산 기준)

단위: 톤



자료: 저자 작성

앞의 세 가지 기술 중 AMP 설치 시 부산 도시에는 어떤 영향을 미치는지 비교·분석하기 위해 대기확산분석을 실시하였다. 분석결과 1월 기준으로는 최대 86㎍/㎥, 4월 기준으로는 116㎍/㎥, 7월 기준으로는 105㎍/㎥, 10월 기준으로는 98㎍/㎥의 최대평균 미세먼지가 발생하는 것으로 분석되었다. AMP 적용 전 최대평균 미세먼지 농도와 비교 시, AMP 설치로 인해 최대평균 미세먼지 농도가 33% 정도 감소하는 것으로 나타나, 항만 내 또는 인근 도시의 대기질 개선에 긍정적 영향을 미칠 것으로 예상된다.

〈표 5-8〉 AMP 적용 전·후 최대평균 미세먼지 농도 비교

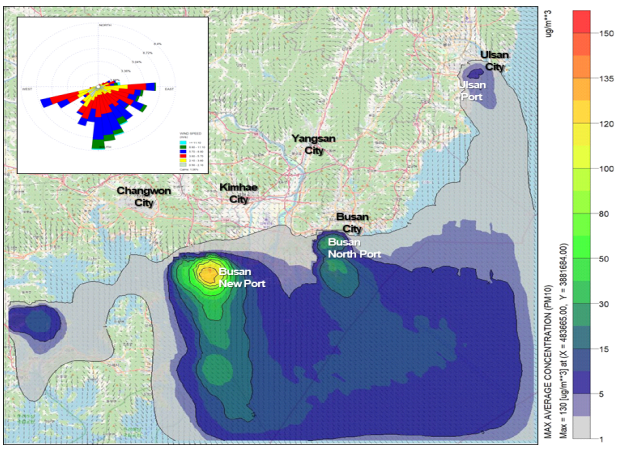
단위: ㎍/㎥, %

구분	최대평균농도 (PM10)		
	AMP 적용 전	AMP 적용 후	증감률
2019년 1월	130	86	-33.8%
2019년 4월	173	116	-32.9%
2019년 7월	156	105	-32.7%
2019년 10월	148	98	-33.8%

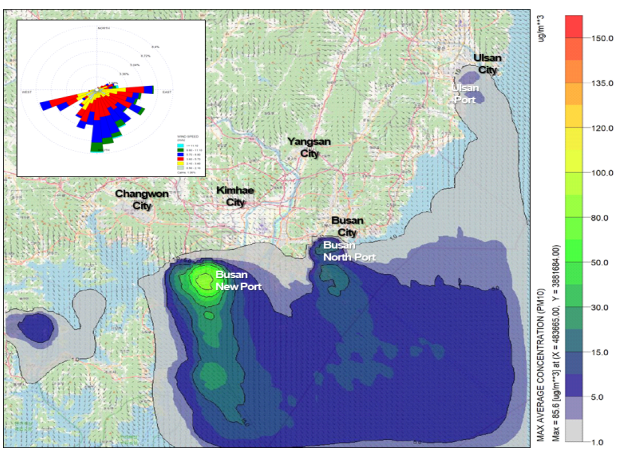
자료: CALMET 기반으로 저자 분석·작성

〈그림 5-25〉를 보면 AMP 적용 후 2019년 1월의 미세먼지 최대평균농도는 130㎍/㎥에서 86㎍/㎥으로 감소하는 것으로 분석되었다. 특히 AMP 설치 효과로 부산신항 지역에서 미세먼지 개선 효과가 큰 것으로 나타났다.

〈그림 5-25〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 1월)



〈AMP 적용 전〉

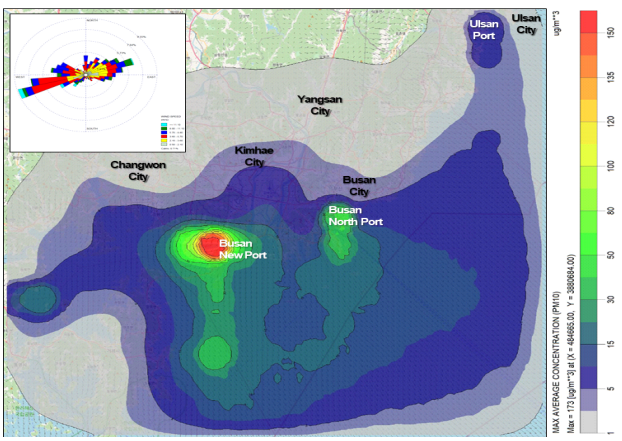


〈AMP 적용 후〉

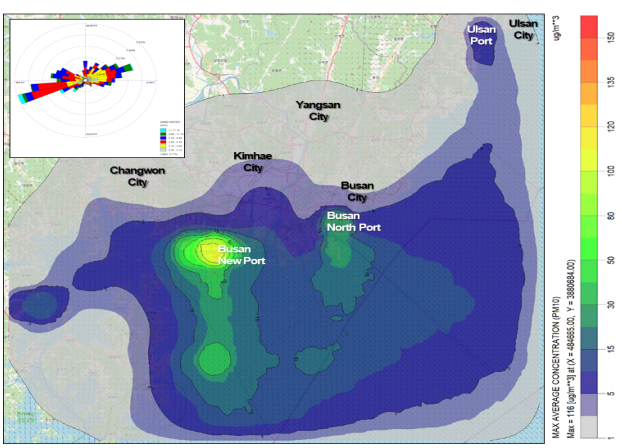
자료: CALPUFF 기반으로 저자 분석·작성

〈그림 5-26〉을 보면 AMP 적용 후 2019년 4월의 경우에도 1월과 유사한 패턴을 보이고 있으며, 미세먼지 최대평균농도는 173㎍/㎥에서 116㎍/㎥으로 감소하는 것으로 분석되었다. AMP 적용 후에도 설치 전과 동일하게 미세먼지의 농도는 4월이 가장 높은 것으로 분석되었다.

〈그림 5-26〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 4월)



〈AMP 적용 전〉

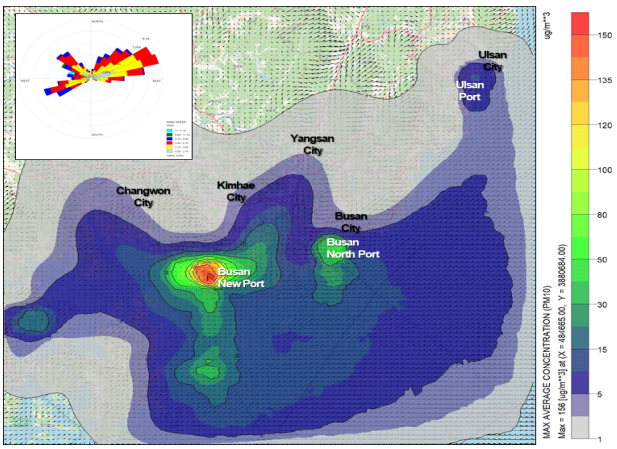


〈AMP 적용 후〉

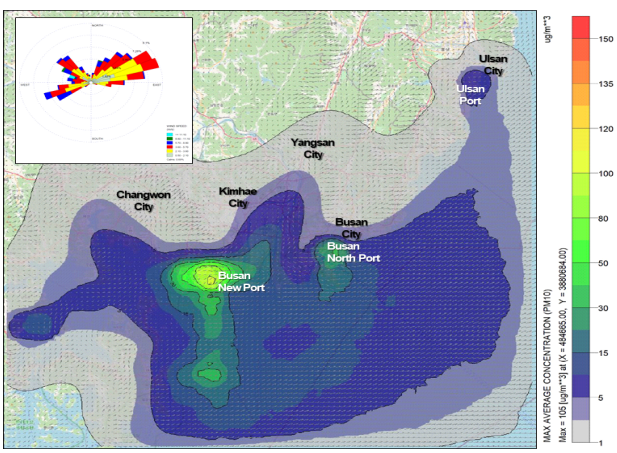
자료: CALPUFF 기반으로 저자 분석·작성

〈그림 5-27〉을 보면 AMP 적용 후 2019년 7월의 경우에도 1월 및 4월과 유사한 패턴을 보이고 있으며, 미세먼지 최대평균농도는 156 ㎍/㎥에서 105㎍/㎥으로 감소하는 것으로 분석되었다. 부산신항의 미세먼지 개선 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

〈그림 5-27〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 7월)



〈AMP 적용 전〉

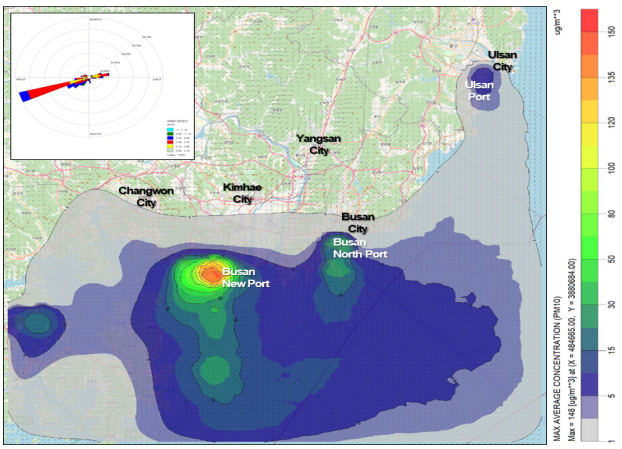


〈AMP 적용 후〉

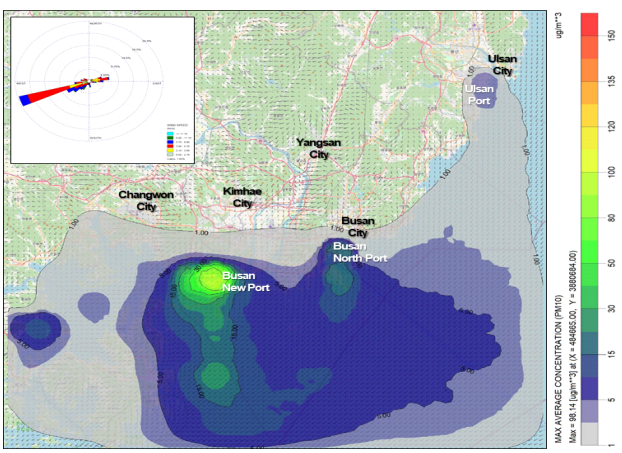
자료: CALPUFF 기반으로 저자 분석·작성

〈그림 5-28〉을 보면 AMP 적용 후 2019년 10월의 경우에도 유사한 패턴을 보이고 있으며, 미세먼지 최대평균농도는 148㎍/㎥에서 98㎍/㎥으로 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 AMP 설치로 부산신항의 미세먼지 개선 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

〈그림 5-28〉 AMP 설치 전후 부산항 대기확산분석 결과(2019년 10월)



〈AMP 적용 전〉



〈AMP 적용 후〉

자료: CALPUFF 기반으로 저자 분석·작성

제3절 스마트 항만도시의 에너지 그리드 구축 효과

항만에는 크레인과 같은 하역장비를 포함해 냉장·냉동컨테이너를 위한 전력공급장치, 조명 등이 사용되며, 이들을 운용하기 위해 상당한 전기 에너지를 소모한다. 우리나라 전력생산에서의 친환경 에너지원 비중이 점차 높아지고 있어 항만에서 사용하는 전력 역시 점차 친환경 에너지원을 통해 공급될 것으로 예상된다. 이에 본 절에서는 현재 우리나라 기술로 공급 가능한 신재생 에너지원을 파악하고 생산가능한 에너지량을 추정했다. 동시에, 스마트항만과 스마트도시 건설은 전기 사용량을 증가시킬 가능성이 크므로 항만과 인근 도시를 연결하는 에너지 그리드를 구축하여 스마트항만-도시의 에너지 자립도를 높여 기저용량이 불안정한 신재생에너지의 안정적인 전력 수급 방안을 강구했다.

1. 태양광을 활용한 에너지 생산기술과 그리드

태양광 에너지 발전방식은 태양을 통해 에너지를 얻는 한 방법이다. 가장 상용화되어 있는 태양전지(Solar cell)는 광전효과로 햇빛을 전기화하는 장치이다. 생산된 전기는 수전해를 통해 수소로 저장되고, 연료전지와 수소를 활용해 전기에너지로 변환 후 사용된다.

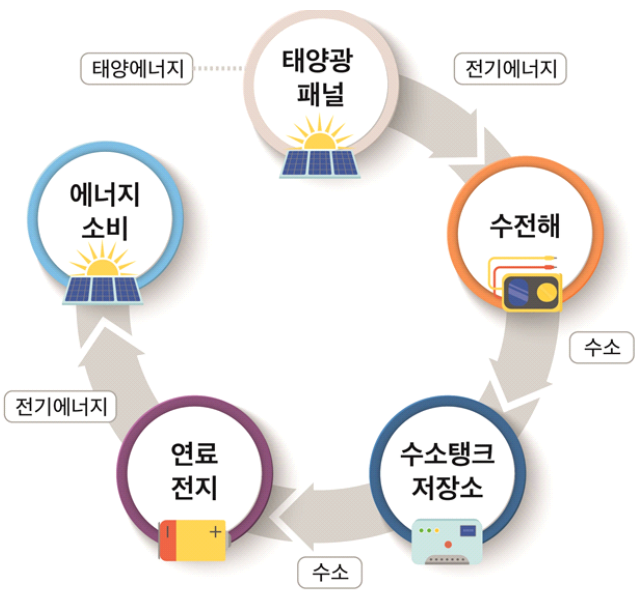
햇빛을 전기화하는 방식은 유기태양전지(OSC: Organic Solar Cell)나 페로브스카이트 태양전지(Perovskite Solar Cell) 등이 있으나, 앞서 언급한 바와 같이 기본형이 현재 상용화돼 사용된다. 이는 광전효과를 통해 햇빛을 전기로 변환하는 장치이다.

태양전지를 통해 생산한 전기를 활용해 물을 수소로 저장할 수 있다.

이는 수전해기술로 촉매나 분리막, 전해질 등의 소재로 구성된다. 물 분자가 산소와 수소로 분리되면, 산소는 시스템으로부터 빠져나가 수소만 남게 된다. 수소는 고압으로 압축해 저장한다.

수전해기술을 통해 만들어진 수소분자는 수요에 따라 전기에너지로 변환해 사용한다. 즉, 수전해기술을 역으로 활용한 것이 수소연료전지라 할 수 있다. 수소가 촉매와 반응해 전기를 발생시키면 부산물로 물이 만들어진다.

〈그림 5-29〉 태양광 에너지 생산공정 개략도



자료: 저자 작성

이와 같은 기술을 기반으로 한 에너지 생산공정은 일사량 등에 의해 효율이 달라진다. 먼저 태양전지를 운전할 수 있는 시간은 계절 및 날씨를 고려해 '6시간/일'로 가정했다. 북위 49°의 영국에서는 연간 175kWh, 북위 39°의 미국 콜로라도에서는 연간 400kWh의 태양광

에너지 생산량이 보고된다. 이에, 대한민국의 계절과 날씨를 고려해 표준 온도와 압력(STP: Standard Temperature and Pressure) 상태에서 1,000W/m^2(태양광 패널)으로 가정했다.

예비 평가에서 사용된 조건은 통상적으로 적용되는 값을 기반으로 했다. 이는 태양광 패널을 운용하는 시간이나 태양광 에너지 효율 등을 고려한 것으로 단위면적당 생산할 수 있는 전력량을 계산할 수 있게 한다.

이를 기반으로 1만 평 부지에서 최종적으로 생산 가능한 전력을 46,200MJ/일로 계산한다. 다만, 이는 세부적인 조건이나 가정의 변경에 따라 다르게 계산되므로, 실제 태양광 에너지 시스템 구축 시 보다 면밀한 검토가 필요하다.

〈표 5-9〉 태양광 에너지 조건 및 가정

조건 및 가정	값	단위
하루 운전시간	6	시간
태양광 에너지 효율	0.15	-
수전해 시스템 전기 소비량	6	kWh/Nm^3
수전해 시스템 효율	94	$
연료전지 효율	45	%

자료: 저자 작성

2. 풍력을 활용한 에너지 생산기술과 그리드

항만은 배후단지 또는 인근 해역에서 풍력발전을 통해 전력을 공급받을 수 있다. 태양광과 유사하게, 직접적인 전력수급도 가능하나 수소 또는 이차전지를 통해 생산된 에너지를 저장한 후, 이를 전기화해

재활용하는 것도 가능하다. 이차전지는 대용량 기기에 안정적으로 활용하기에는 한계가 존재하므로, 수소에너지를 접목해 풍력을 활용하는 것을 가정한다. 즉, 풍력을 통해 전기를 1차 생산하는 단계를 제외하면 생산된 전기를 수소화해 저장하는 수전해기술이나 저장된 에너지를 이용하는 연료전지기술은 동일하게 적용된다.

풍력을 활용해 전기를 생산하는 기술은 터빈 형태에 따라 다양하며, 대표적으로 프로펠러형(Propeler Type), 다리우스형(Darrieus Type), 사보니우스형(Savonius Type), 자이로밀형(Gyro-mill Type), 헬리컬형(Helical Type) 등이 활발히 개발되고 있다. 본문에서는 현재 상용화된 프로펠러형 풍력터빈 활용을 가정하며, 이는 바람에 의해 3개의 날(blade)이 회전하며 전기를 생산한다.

〈표 5-10〉 풍력 에너지 조건 및 가정

조건 및 가정	값	단위
풍력터빈 발전용량	2	MW
로터 지름	80	m
로터 높이	160	m
일평균 발전시간	22	시간
대당 평균 전력생산량(해상)	5000	KW
대당 평균 전력생산량(육상)	2000	KW
설치수량	100	개
수전해 시스템 효율	94	%
연료전지 효율	45	%

자료: 저자 작성

풍력을 활용해 전기를 생산하는 공정 예비평가를 위해 풍력발전기 용량, 로터(Rotor)의 지름과 높이, 일평균 발전시간, 풍력발전기 대당 평균 전력생산량, 설치수량 등을 가정했다.

이를 기반으로, 해상풍력발전기 1기의 생산 가능한 전력량은 13,464,000(MJ/일)이고, 이를 통해 얻을 수 있는 수소는 21,094(Nm^3/기)이며, 연료전지를 통해 전력으로 전환 시 5,695,272(MJ/일)의 전기가 최종적으로 생산돼 활용할 수 있다. 육상풍력발전기의 경우 동일한 절차로 계산되며, 최종적으로 생산 가능한 전력은 2,278,109(MJ/일)로 계산된다.

3. 해조류를 활용한 에너지 생산기술과 그리드

해조류는 조류(algae)의 한 종류로 미세조류(microalgae)와 구분된다. 식물성 플랑크톤과 같은 미세유기체인 미세조류와는 달리, 대부분의 해조류는 잎사귀 형태의 수생식물로 대표된다. 미세조류는 지질(lipids) 함량이 높기 때문에 화석연료인 디젤을 대체하는 바이오디젤을 생산하는 주원료로서 활발하게 연구되고 있다. 반면 해조류는 일반적으로 지질함량이 낮고, 천연당분과 탄수화물이 주성분을 이룬다. 해조류 내의 당분과 탄수화물은 발효(fermentation) 과정을 통해 바이오가스(biogas) 또는 알코올(alcohol) 기반의 연료로 전환 가능하다.

해조류는 일반적으로 당류와 탄수화물로 구성되어 있고, 이에 포함된 탄소(C)는 연료를 구성하는 주요 원소이다. 따라서 당류와 탄수화물의 생화학적 전환을 통해 바이오가스와 알코올과 같은 에너지 원료를 생산할 수 있다. 대표적인 바이오가스로는 메탄이 있고, 알코올 기반 연료로는 에탄올이 있다.

해조류를 활용한 에너지 생산은 자연적으로 발생하는 천연 해조류, 해안가로 쓸려오는 표류(drift) 해조류, 양식을 통한 해조류 등을

활용해 바이오매스를 생산하는 것에서 시작한다. 이를 수동 또는 자동으로 수확하고 전처리를 수행한다. 수확 직후 해조류의 수분 함량은 90% 가까이 되므로, 탈수기계나 자연건조를 통한 수분제거 단계가 필요하다. 또한 해수에 존재하는 돌과 흙과 같은 잔해를 제거하는 단계를 필수적으로 거친다. 후단 공정에 따라서 추가적인 전처리를 통해 에너지 생산효율을 높일 수 있다. 분쇄(chopping) 또는 제분(milling) 단계를 통해 해조류를 잘게 쪼개고, 이를 통해 후단 공정의 수율을 높일 수 있다.

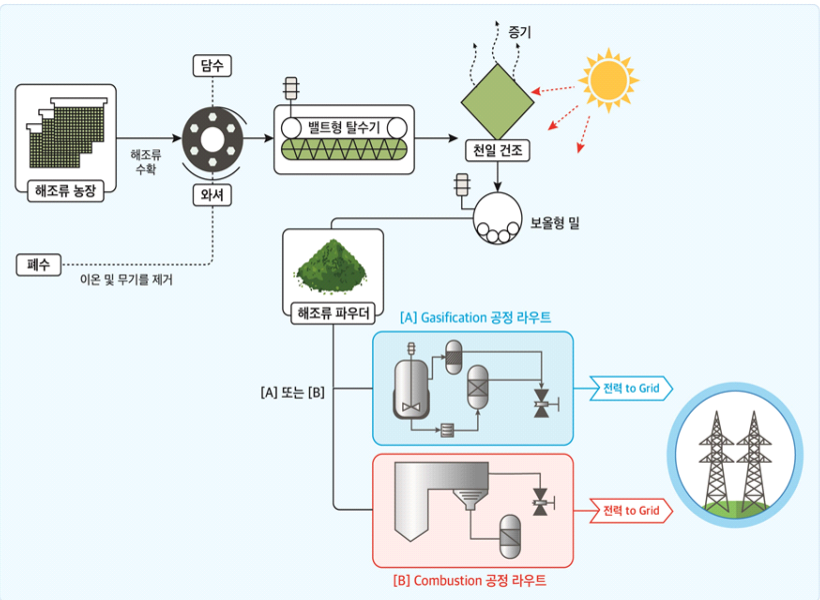
마지막 하단(downstream) 전환 공정에서 전처리를 거친 해조류를 에너지원으로 전환한다. 해조류의 화학조성에 따라 생산 가능한 연료의 종류와 에너지 생산공정이 선택된다. 일반적으로 효소(enzyme), 효모(yeast)와 박테리아의 당류 분해(발효)를 통해 에탄올을 생산하거나 미세박테리아 혐기성 소화를 통해 메탄과 같은 바이오가스를 생산한다. 또는 연소나 가스화, 열분해 등을 통해 해조류 바이오매스를 합성가스(일산화탄소와 수소의 혼합가스)로 전환하는 공정을 사용하기도 한다.

상기의 해조류 바이오매스 전환 공정 중, 건조 해조류의 직접연소와 혐기성 소화 과정을 거쳐 바이오가스를 생산하고, 추가적인 가스화 공정을 통해 남은 고체 슬러지로부터 에너지를 추출하는 2단계 혐기성 소화-가스화 에너지 생산공정을 대상으로 에너지 생산효율을 분석했다.

해조류를 통해 에너지를 수급하려면 안정적인 해조류 공급이 필수이므로 해조류 양식장에서 수확된 해조류를 원료로 사용하는 에너지 생산공정을 가정했다. 수확된 해조류의 염분 및 무기물을 담수로 세척하고, 탈수기를 통해 수분 함량을 낮춰 해조류 슬러지를 케이크

(cake) 형태로 만든다. 추가적으로 천일건조 과정 및 분쇄과정을 거쳐, 수분 함량을 대폭 낮춘 가루 형태의 바이오매스를 얻는다. 이 과정을 통해 생산된 해조류 바이오매스는 [A] 혐기성 소화-가스화를 통해 합성가스로 전환되어 전력으로 생산되거나 [B] 직접 연소를 통해 전력으로 전환된다.

〈그림 5-30〉 해조류 에너지 생산공정 개략도



자료: 저자 작성

예비평가에 사용된 각 공정조건과 파라미터는 해수 단위 부피당 바이오매스 함량 및 에너지 함량과 전환 공정 전 단계인 해조류 전처리 단계에서 소비되는 전력에너지로 정리할 수 있다.

〈표 5-11〉 해수 단위 부피당 바이오매스 및 에너지 함량

단위 부피 해수 질량	건조 해조류 바이오매스 질량	해조류 바이오매스 에너지
516.8(kg/m^3 해수)*	124.03(kg/m^3 해수)**	86.82(MJ/m^3 해수)***

주: * 동해바다 기준
** 평균 수분 76% 가정
*** 건조 해조류의 LHV(Lower Heating Value, 저위발열량)은 0.7 MJ/kg 가정

〈표 5-12〉 상단 공정에서의 에너지 소비량

에너지 소비(MJ/m^3 해수)		가정
세척 공정 전력 소비	6.89	세척 시간은 30분, Runxiang Model RX-2500을 사용한다고 가정
탈수 공정 전력 소비	4.68	진공벨트필터(vacuum belt filter) 적용 시, 수분 함량을 76%에서 63%, Sonthofen BF-400 탈수기 사용 시, 처리시간은 0.71hr 필요. 1m^3 탈수 용량당 전력 사용량은 1.82kW
태양열 건조 에너지 소비	461.80	태양열을 활용해 해조류의 수분 함량은 63%에서 5% 이하, 대한민국의 평균 일사량은 14.4MJ/$m^{2로}$ 가정. 해조류 케이크 두께가 5cm일 경우, 해수 1m^3당 8.9m^2의 건조 면적과 3.48hr의 건조시간 필요
분쇄 공정 전력 소비	5.22	분쇄(milling) 에너지 11.7kWh/톤 가정
총 전력 소비	16.79	태양열 에너지 제외

자료: 저자 작성

직접연소[B] 공정을 거쳐 에너지를 생산할 시, 바이오매스에서 전기에너지로 한 단계 전환을 거친다. 가스화[A] 공정은, 바이오매스를 바이오가스로 전환, 바이오가스를 전기에너지로 전환하므로, 2단계 전환 공정을 거친다. 두 가지 방법을 통해서 생산된 총 전력생산량에서 전처리에서 소비된 전력에너지를 제외하여 순 전력 생산량을 계산한다. 그 결과, 직접 연소를 거치는 경우, 단위 부피 해수당, 17.29MJ의 전력이 생산되고, 혐기성 소화-가스화 공정을 거치는 경우 4.64MJ의 전력이 생산된다.

〈표 5-13〉 직접연소([B] 공정)와 가스화([A] 공정) 공정을 통한 전력량 비교

에너지 소비(MJ/m^3 해수)			가정
[B] 공정	전력 생산량	34.08	전력전환 효율 39.25% 가정
	순 전력 생산량	**17.29**	-
[A] 공정	바이오가스 수율	2.85	바이오가스 수율=0.023m^3 바이오가스/kg 바이오매스 가정
	바이오가스 에너지 함량	63.62	바이오가스 LHV-22.3 MJ/m^3 가정
	바이오가스 기반 전력 생산량	21.43	바이오매스-바이오가스 전력 전환 효율(KWh/kg)=0.048kWh/kg 가정
	순 전력생산량	**4.64**	태양열 에너지 제외

자료: 저자 작성

4. 가축분뇨를 활용한 에너지 생산기술과 그리드

가축분뇨는 소화되지 않거나 부분 소화된 영양분을 함유하고 있기 때문에 일반적으로 거름으로 활용되며 식물의 성장에 도움을 주고 토양 구조를 개선하는 데 사용된다. 가축이 소비하는 동물 사료에는 탄수화물(C), 수소(H) 및 산소(O)가 포함되어 있다. 그 밖의 영양소로는 단백질(아미노산 형태)과 지방(또는 지질)이 있는데, 주로 인(P)과 질소(N)로 구성되어 있다. 사료 속의 모든 에너지가 동물에 의해 이용되는 것은 아니기 때문에, 많은 비율이 분뇨로 배출된다.

가축분뇨를 활용한 에너지 생산공정은 크게 생물학적 전환 공정과 열화학적 전환 공정이 존재한다. 생물학적 전환 공정은 동물의 배설물로부터 에너지를 생성하는 생물학적 전환 공정을 통해 메탄가스를 생산할 수 있다. 이 과정은 혐기성 소화(anaerobic digestion), 즉 공기(특히 산소)가 없는 상태에서 자연적으로 발생하는 미생물(박테

리아)을 이용해 거름을 처리해 생물 가스를 만들어 내는 것이다. 박테리아가 거름 속 유기물질의 분해를 함으로써 생성되는 바이오가스는 주로 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)를 함유하고 있다. 메탄은 천연가스의 90% 이상을 차지하는 휘발성 기체로서, 연소 시 매우 높은 열을 발생시키므로 가장 효율적인 에너지원 중 하나이다. 질소(N_2), 황화수소(H_2S), 미량 유기성분 등 다른 가스도 소량 존재한다. 전형적으로 메탄이 생물 가스의 60~65%를 차지하고 메탄과 이산화탄소의 합은 생물 가스의 90% 이상을 차지한다. 모든 질소, 인, 칼륨은 소화된 고체 거름 형태로 남게 된다.

이에 반해, 열화학적 전환 공정은 직접 연소, 공동화(co-firing), 가스화(gasification), 열분해(pyrolysis) 등이 포함된다. 직접 연소는 바이오매스를 용광로에서 직접 연소시켜 열과 전기를 생산하는 것을 말한다. 연소열에서 생성되는 증기는 발전기를 돌려 전기를 생산하는 터빈에 동력을 공급한다. 연료로서의 거름은 직접 연소될 가능성이 있다. 단, 그 회분함량(토양이나 기타 무기물질 등 연소 후에도 남아 있는 무기물 잔류물)이 다른 바이오매스(예: 나무와 짚)나 화석연료(예: 석탄)에 비해 높기 때문에 거름의 직접연소는 실용적이고 효율적이지 못하다. 가축분뇨 함유물의 가변성으로 인해 안정적인 에너지 생산이 어렵기 때문에, 가변성이 낮은 연료(예: 석탄)와 혼합함으로써 에너지 생산량의 변동성을 줄일 수 있다.

가스화 공정은 탄소 기반 연료(탄소를 함유한 화석연료나 바이오매스 연료)를 고온, 산소 결핍 환경에서 불완전 연소하여 기체성 화학연료로 전환하는 과정이다. 기체화 공정을 통해 주로 수소와 일산화탄소(CO)가 주요 성분을 이루는 합성 가스(synthetic gas 또는 syngas)를 생산한다. 합성가스는 천연가스와 마찬가지로 화학적 변환에 의해

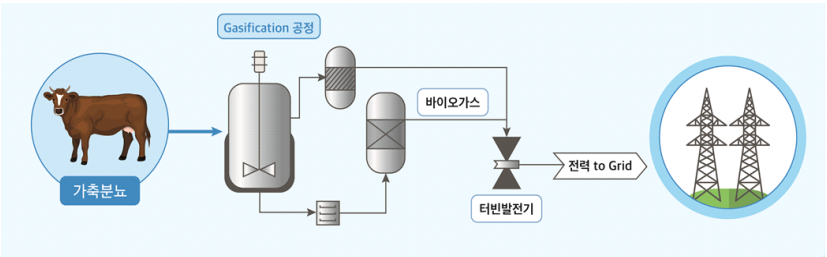
다른 연료나 화학제품으로 변환되어 저장할 수 있고, 직접 연소하되 에너지를 생산할 수 있다.

열분해는 산화제(산소)가 완전히 없는 상태에서 바이오매스를 고온에서 가열하는 열화학적 전환 과정이다. 이 공정을 위한 제품으로는 가연성 가스, 액체 응축물, 숯 등이 있다. 액체 부분을 열분해 오일이라고 하는데, 전기를 발생시키기 위해 태울 수 있다. 또한 플라스틱과 다른 바이오 제품을 생산하기 위한 화학 첨가물로 사용될 수 있다.

농장 내 가축분뇨 수송비용을 최소화하기 위해 농장 내에 직접 에너지 전환 시스템을 설치할 수 있다. 농장 운영자는 에너지 시스템을 구축하여 폐기물의 일부를 처리 및 변환하고, 농장 운영을 위한 보조 에너지와 전력을 생산할 수 있다. 예를 들어, 위에서 설명한 생물학적 전환 공정인 혐기성 소화 시스템을 위한 반응기(digester) 설치를 통해 바이오 메탄가스를 생산할 수 있다. 이렇게 생산된 메탄은 터빈, 발전기를 통해 전력으로 전환된다. 또한 혐기성 소화를 거친 후 발생하는 슬러지(고체 형태의 폐기물)는 가스화 시스템을 통해 합성가스로 전환된다. 이와 같이 2단계로 이루어진 혐기성 소화 반응기-가스화 시스템 운영을 통해 가축분뇨의 에너지 전환율을 높일 수 있다.

가축분뇨 에너지 생산 전환 공정의 예비 평가를 위해서, 축우 농장에서 배출되는 분뇨라 가정하고, [그림 5-31]에서와 같이, 2단계 혐기성 소화 반응기-가스화 시스템으로 구성된 공정을 대상으로 분석을 진행하였다.

〈그림 5-31〉 가축분뇨를 활용한 전력 생산공정 개략도



자료: 저자 작성

소 한 마리당 분뇨 배출량과 바이오가스 생산량에 대한 값을 아래와 같이 가정했을 때, 하루 배출 가축분뇨 1m^{3}당 포함되어 있는 바이오매스 함량은 153.08MJ이고, 단위 분뇨 부피당 생산되는 바이오가스량은 44.03m^{3}이다. 이를 기반으로 에너지를 계산한 결과가 〈표 5-14〉에 나타나 있다.

〈표 5-14〉 가축분뇨 바이오가스 및 에너지 함량

마리당 분뇨 생산량	12gallon/head-day	축우 마리당, 하루 기준 가정
마리당 바이오가스 생산량	2 m^3 - 바이오가스/Head-day	미국 박테리아 생산량 가정
가축분뇨의 바이오매스 에너지 함량	153.08MJ/Head-day	LHV 기준 계산. 질량 기준 수분 함량 50% 이하 가정
분뇨 1m^{3}당 바이오가스량	44.03m^3-바이오가스 /m^3 -가축분뇨	

자료: 저자 작성

〈표 5-15〉 가스화 공정 기반 가축분뇨의 바이오연료 에너지 효율 계산결과

1m^3 당 바이오가스 전력생산량 MJ/m^3 - 바이오가스	9.36	휘발성 물질(Volatile Matter)이 50% 이상 가정
분뇨 1m^{3}당 전력생산량 (MJ/m^3 가축분뇨)	412.11	
마리당 최종 전력생산량 (MJ/Head-day)	18.72	하루 동안 소 1마리에서 배출되는 분뇨로 생산할 수 있는 전력량
순 전력생산량(MJ/Head-day)	4.64	에너지 효율 12.23%

자료: 저자 작성

5. 소결

앞서 설명한 4개의 신재생에너지를 통해 전력을 생산, 저장해 항만과 도시에서 사용할 수 있고, 배후단지(도시)의 에너지 단지를 통해 항만에 필요한 에너지를 공급하는 것 또한 가능하다. 도시, 항만 또는 항만도시의 지역 및 산업환경에 따라 가장 적합한 에너지원이 결정된다. 가령, 풍력을 활용하기 적합한 대지나 해상공간을 가진 항만도시는 풍력발전의 비중을 높여 에너지 그리드를 구축할 수 있다.

에너지 생산효율을 비교하면, 풍력이 압도적으로 우수하며, 태양광, 분뇨와 해조류가 그 뒤를 잇는다. 해조류의 경우, 실효성이 아직까지 확보되지 않았다고 판단되고, 배후부지 면적이 상대적으로 협소한 우리나라에서는 분뇨를 통한 에너지 그리드 구축도 긍정적으로 볼 수 없다.

차세대 에너지원으로 각광 받는 태양광의 경우, 정부에서 오랜 기간 보조금을 지급하는 등 관심을 받아왔고 햇빛을 전기화하는 여러 방식의 발전으로 앞으로도 유망한 에너지원으로 판단된다. 『재생에너지 3020 이행계획』에서도 향후 태양광 에너지로부터 발전 비중을 57% 수준으로 끌어올릴 것을 계획하기도 했다. 항만과 배후단지에 태양광 패널을 설치해 스마트항만-도시의 에너지 그리드에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

풍력의 경우 『재생에너지 3020 이행계획』에서 태양광 다음으로 중요한 발전원으로 여겨졌다. 풍력은 에너지 측면에서의 활용성이 가장 기대되며, 항만의 경우 해상풍력이 대안으로 활용될 수 있다. 다만, 해상풍력은 태풍에 많은 영향을 받는 우리나라의 입장에서 설치와 관리에 큰 노력을 기울여야 하고, 어업이나 항로에 미치는 영향도 자세히 검토돼야 한다.

제 6 장

결론 및 정책제언

제1절 결론

1. 연구결과 요약

1) 항만-도시 연계 효과

급격한 경제성장 및 지경학적 이점을 기반으로 글로벌 허브항만으로 부상한 우리나라 항만도시는 공간구조상의 많은 한계점을 가지고 있다. 부산항, 인천항 등 우리나라를 대표하는 항만도시는 글로벌 환적항으로서의 항만기능뿐만 아니라 도시민의 생활을 지원하는 도시기능이 지속적으로 강화되고 있다. 이로 인하여 현재 우리나라 항만도시들은 도시가 확장하고 항만이 성장함에 따라 도시나 항만을 위한 공간이 모두 부족해지는 문제점을 안고 있다. 이러한 공간 부족 문제를 해결하기 위해 항만과 도시는 바다 매립을 통한 공간 확장으로 자연환경 훼손, 도시기후 변화 및 자연재해 위험성 등이 발생하고

있다. 또한 항만과 도시의 연계는 고려하지 않고 인근 지역으로 필요 기능의 확장으로 항만 보안구역 인근에 아파트가 조성되거나 신규 항만이 거주공간과 동떨어져 있거나 화물전용 도로가 없는 기형적인 도시공간으로 교통체증 등 많은 문제가 발생하고 있다. 특히 항만 배후도로의 항만차량 비율이 50%가 넘는 인천의 경우에는 도심에서 대형화물트럭과 일반차량 간 교통혼잡 등의 문제가 심각한 수준이다.

데이터 기반의 스마트 항만도시 관점에서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 방대한 교통 흐름 데이터를 기반으로 신규 항만건설 및 도시개발 단계부터 항만 전용 우회도로 설계, 게이트 진입구간에 충분한 트럭 대기공간을 확보하는 것이 필요하다. 기존 항만도시의 경우에는 교통 흐름의 상호 정보연계, 트럭예약시스템 등을 통한 인위적인 트럭 도착시간을 분산시키는 방법이 있다. 시뮬레이션 실험결과 트럭 도착정보 공유를 기반으로 한 게이트 진입 트럭 도착시간 분산으로 트럭 대기줄에 의한 교통정체가 25% 감소했다. 터미널 게이트의 스마트화(OCR 도입 등)를 통한 통과속도 개선으로 교통정체가 약 44% 감소했다. 항만 설계 당시 데이터를 기반으로 한 게이트 진입로 차선 확대로 터미널 진입로의 정체가 약 90% 정도 완화되었다.

항만도시에서는 항만에서 기인하는 오염물질로 인해 도시의 수질, 대기질, 소음 등이 문제가 되고 있으며 반대로 도시에서 나오는 하수 등 오염물질로 인해 항만의 수질이 악화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 항만 기인 오염물질 중 미세먼지가 항만도시에 미치는 영향의 심각도를 파악하고 현재 설치가 진행되고 있는 AMP 설치 등으로 인한 대기질 개선효과 등을 AIS 및 대기확산모형 기반 수치로 파악했다. 그 결과 AMP 운영으로 인해 도시 대기질의 미세먼지 농도가 33% 정도 개선되는 효과가 나타났다.

스마트 항만도시는 항만에서 도심으로 미치는 대기오염물질, 도시가 항만에 미치는 쓰레기 문제 등을 해결하기 위해서는 데이터 기반의 오염물질 해결방안을 탐색하고, 철저한 관리 및 제어를 통해 도시 및 항만의 환경이 쾌적하게 유지되는 방안을 찾는 것이 필요하다. 또한 싱가포르 PSA가 주도하고 있는 친환경 선박 프로그램, 친환경 항만 프로그램, 친환경 에너지 및 기술 프로그램, 친환경 인식 프로그램 등 해운그린이니셔티브(MSCI) 등의 추진을 통해 기업들의 자발적인 참여를 유도하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

해외에서 개발되고 있는 스마트시티, 스마트항만은 미래세대를 위한 지속가능한 발전을 전제로 하기 때문에 에너지 공급체계가 화석연료가 아닌 신재생에너지를 기반으로 해야 한다. 이에 본 연구에서는 항만배후지 혹은 도심의 에너지 단지를 활용하여 항만에 에너지를 공급하는 방안을 모색했다. 그 결과 해상공간을 이용한 풍력(육상풍력발전기 1기당 2,278,109MJ)이 에너지 생산효율이 가장 높았으며 그다음으로 태양광(6시간 가동 시 1일 46,200MJ), 분뇨(412MJ/㎥), 해조류(단위 부피당 86.82MJ) 등을 이용한 에너지 그리드 구축이 가능성이 있는 것으로 나타났다. 2018년 기준 가구당 평균 전력 사용량인 200kw로 환산하면 풍력은 3,164가구, 태양광은 64가구, 분뇨는 1/2가구, 해조류는 1/10가구의 에너지를 공급할 수 있는 양이다.[116] 우리나라 항만도시 에너지 그리드 구성 시 바이오에너지 기반의 EPIC2020 사례, 가고시마 메가 태양광, 제미니 풍력사업 등을 참조할 필요가 있다. 한편 싱가포르 주롱항은 창고에 설치된 태양광 패널로 연간 1,200만kwh(항만 전력수요의 60% 충당)를 생산하고 있다.

116) MJ의 kwh 환산계수는 약 3.6(https://www.calculat.org/kr/단위-환산/에너지.html), 전력 빅데이터센터 가구 평균 전력사용량은 2018년 10월 부산 기준, https://home.kepco.co.kr/kepco/BD/BDBAPP005/BDBAPP005.do?menuCd=FN33020105#(검색일: 2020. 10. 2).

2) 항만-도시 유형화

물동량과 인구를 기반으로 한 상대적집중도지수(RCI) 분석결과, 부산항을 비롯하여 로테르담항, 앤트워프항, 함부르크항, 싱가포르항, 닝보·저우산항 등 대부분 스마트항만이 높은 점수를 나타냈다. 하지만 항만도시가 스마트항만산업으로 변모되었는지를 분석한 입지계수(LQ)는 우리나라 항만도시의 경우 항만산업은 발전되어 있으나 데이터 등의 스마트항만산업 발전은 미흡한 편이다. 우리나라와 달리 로테르담항, 함부르크항, 앤트워프항 등은 항만산업뿐만 아니라 배후도시에 데이터산업 등 스마트항만산업도 발전하고 있는 것으로 나타났다. 우리나라에서 현재 항만도시의 해안지역을 대부분 차지하는 산업은 항만산업, 조선산업, 물류산업 등과 직간접적으로 관련이 많은데 이들 산업과 산업시설들이 새로운 스마트도시에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 특히 도시계획 측면에서 시민들의 삶의 질 향상에 귀중한 수변공간이 아직도 노후화되고 환경을 오염시키며 경관을 해치는 산업시설에 점유되어 있는 실정이다. 우리나라 항만도시가 항만도시를 넘어 스마트 항만도시로 거듭나기 위해서는 데이터 관련 산업을 항만도시에 유치·육성하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3) 한국형 스마트 항만도시 개념 정립 및 발전 방향

스마트 항만도시의 개념 정립을 위해 세계경제포럼(WEF)에서 제공하는 국가경쟁력지수, 세계은행의 물류성능지수(LPI), 세계 100대 항만의 컨테이너 물동량 및 자동화 여부 등의 인자를 가지고 46개국 15개 매트릭스를 구성했다. 이 값을 가지고 스마트 항만도시의 경제가 디지털 물류를 기반으로 지속적으로 성장 가능한지 측정하기 위해

물류성과지수를 y값, 국가경쟁력지수 12개, 항만 물동량 1개, 자동화 여부 1개를 x값으로 두고 상관분석과 회귀분석을 실시했다. 그 결과 스마트 항만도시로 발전하기 위해서는 항만도시민의 디지털 기술 및 혁신역량을 제고해야 하고, 제도적·재정지원 관점에서 항만도시에 디지털 기술을 접목하고 지속가능한 발전이 가능하도록 해야 하고, ICT 기술 접목을 통해 원활한 물류 흐름이 조정되어야 하며, 통관절차 간소화 등 물류효율성을 제고할 수 있는 무역장벽 해소(product market) 등 11개 요소가 필요한 것으로 나타났다.

이러한 스마트 항만도시 이미지를 가지고 부산, 인천, 광양, 울산, 평택·당진 도시민을 대상으로 선호도를 조사한 결과, 항만도시민들은 11개 요소 중 디지털 혁신기술 교육 클러스터 공간, 제도·인프라에서 항만 트럭과 일반자동차 이동도로 분리, 스마트 그리드 기반 신재생에너지 공급체계, 항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간 마련, 무인운송수단 활용, AI 기반 복합운송 연계 인프라 등의 순으로 선호하는 것으로 나타났다.

현재 항만도시는 항만에서 도시가 시작되고 항만을 기점으로 도시가 성장해왔으나 항만공간과 도시공간이 통합되지 못하고 각자의 계획 및 관리에 의해 확장 및 성장을 이루어 왔다. 따라서 항만도시는 항만공간과 도시공간의 부적합함으로 인해 주거지 부족, 교통혼잡, 도시환경오염 등 많은 도시문제를 가지고 있다. 따라서 스마트 항만도시에서는 항만공간과 도시공간이 통합된 계획 및 관리가 이루어져야 한다. 그러나 항만공간이나 수변공간의 재생계획을 통해 새로운 도시공간을 마련하려고 해도 이해관계자가 많아서 의견 대립이 심하고 적당한 거버넌스 마련이 어렵다. 따라서 중앙정부가 중심이 된 하향식 의사결정 체계가 쉽게 사용되는데, 스마트 항만도시에서는 지역주민과 지자체를

중심으로 한 거버넌스 마련과 상향식 의사결정체계가 수립되어야 한다.

결론적으로 한국형 스마트 항만도시는 지금까지 산업환경, 물류환경, 여가환경을 넘어서 진정한 생활환경으로서 정비되어야 하며 그곳에서 생활하는 사람들의 안전·건강·복지 실현을 위해 주거시설이 정비되고, 수준 높은 문화·여가·교육을 위한 생활기반시설이 스마트하게 정비되어야 한다. 스마트 항만도시가 가지고 있는 독특한 친수성과 인간의 친수행위가 조화되고 자연환경과 인공환경이 어울려 모든 생명활동이 활성화되며 자연환경에 대한 부담을 최소화하는 지속가능한 환경으로 조성되어야 한다. 또한 스마트 항만도시는 항만기능으로 국제물류 및 비즈니스 공간으로서 그 유용성과 부가가치가 한층 높아져 항만물류 및 비즈니스를 위한 스마트 환경으로 정비되고 대체에너지자원을 적극적으로 활용하는 에너지 자립이 이루어져야 할 것이다. 그리고 한국형 스마트 항만도시의 성패는 결국 시민의 삶의 질 향상을 위한 생활환경 개선과 도시 네트워크의 거점으로서 역할과 글로벌 허브항만의 중심으로서 역할에 달려 있다. 따라서 스마트 항만도시에서는 해양공간과 도시공간을 통합하여 도시 전체에 대한 장기적인 비전과 실행 가능한 도시계획안을 마련하고 친수공간 및 지속가능한 생활환경뿐만 아니라 글로벌 수출입 물류가 원활하게 이뤄지는 공간 조성을 추구하도록 한다.

2. 연구의 한계점

스마트 항만도시를 정의하고 효과를 분석하는데, 연구 범위가 방대하여 본 연구에서는 항만과 도시 연계의 문제점 및 효과 부분을 교통

흐름, 항만 기인 미세먼지 영향, 신재생에너지 공급체계 가능성 등에 국한하여 분석했다. 한편 태풍, 호우, 해수면 상승 등 자연재난의 빈도와 강도가 더욱 세지고 있으며, 이는 항만도시의 안전에 가장 위협이 되고 있다. 따라서 스마트 항만도시에서는 무엇보다 도시에 닥칠 자연재난에 철저히 대응할 수 있는 시스템이 갖추어져야 할 것이다. 스마트 항만도시에서는 자연재난에 대비하여 철저한 안전대책을 마련해야 한다. 지구온난화와 기상이변으로 커다란 재해 가능성이 예견되고 있는 가운데 스마트 항만도시에서 특히 항만이나 수변에 들어서는 건축물은 시민의 생명과 재산 보호의 일차적인 방어물이므로 스마트건물로 계획되어야 한다. 향후 연구에서는 스마트 항만도시와 재난의 연관 관계에 대해서도 규명하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

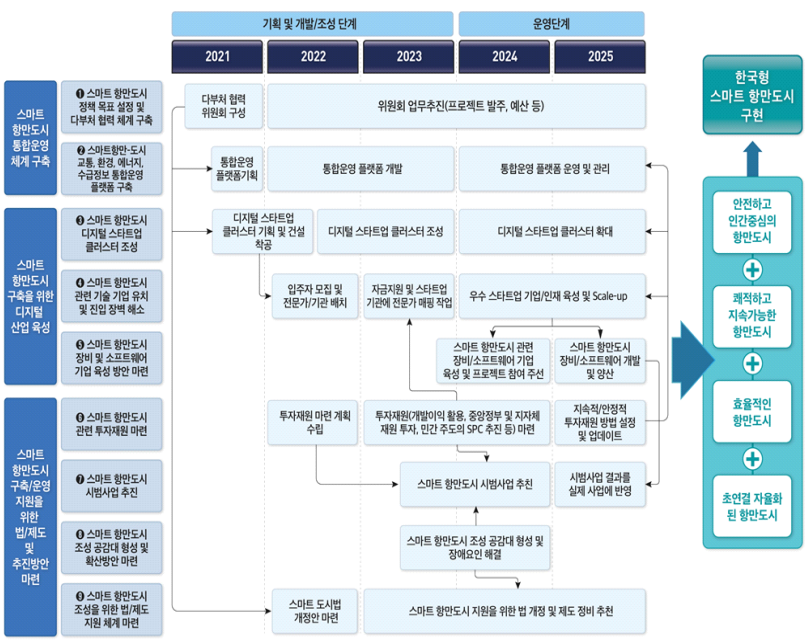
또한 입지계수(LQ) 분석을 위해 국제표준산업분류를 기반으로 국가, 도시별, 산업별 노동자 수를 파악했는데, 현지 전문가를 통한 데이터 확보를 시도했으나 데이터 수집에 한계가 있었다. 예를 들면 중국, 일본 항만도시 등은 국제표준이 아닌 고유 코드를 가지고 정의하고 있어 상호 비교가 어려웠다. 그리고 유럽의 경우에도 2디지트 수준은 도시 데이터가 일부 확보되었으나, 4디지트 수준의 도시 데이터는 확보가 어려웠다. 향후 현재 확보된 데이터를 지속적으로 업데이트할 뿐만 아니라 4디지트 수준의 데이터를 확보하는 방안을 마련할 예정이다.

설문조사 시 스마트, 항만도시에 대한 개념을 설명하고, 선호하는 스마트 항만도시의 이미지를 선정하도록 했으나, 현존하지 않는 개념으로 현재 항만도시민의 개인적인 선호도, 항만의 부정적인 이미지 등이 포함되었을 것이라 판단된다. 향후 보다 정확한 연구결과를 도출하기 위해서는 스마트 항만도시의 개념도를 이미지 형상화하여 설문조사를 진행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

제2절 정책제언

본 절에서는 앞 장에서 도출된 연구결과를 바탕으로 스마트항만과 스마트도시가 연계된 한국형 스마트 항만도시를 구축하고 발전시키기 위해 ⅰ) 스마트 항만도시 통합 운영체계 구축, ⅱ) 스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성, ⅲ) 스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 및 추진방안 마련 세 가지 정책을 제안하고자 한다. 이 세 가지 정책을 통해 쾌적·지속가능하고, 안전하고 인간중심, 초연결·자율화되어 효율성이 높은 한국형 스마트 항만도시 구축·운영으로 항만과 도시 모두 지속가능한 성장이 가능할 것으로 기대된다.

〈그림 6-1〉 정책제언 추진 로드맵 및 연관성



자료: 저자 작성

1. 스마트 항만도시 통합운영체계 구축

1) 목적

항만도시를 하나의 단위로 묶어 계획을 수립하고 통합 운영체계 구축으로 항만과 도시의 항만계획 및 도시계획 분리 수립, 항만 및 도시 간 교통 흐름, 환경정보 등의 연계 미흡으로 인한 비효율 문제를 해결하는 것으로 목적으로 하고 있다. 이러한 문제는 예산, 주체별 임무와 권한 등의 분리 문제로 인한 것으로 항만경제권을 더욱 성장시키고 도시 발전을 이끌기 위해서는 항만도시 관점의 일원화된 조직체계 및 정보 통합운영 플랫폼 구축이 필요하다.

2) 추진내용

(1) 스마트 항만도시 정책목표 설정 및 다부처 협력체계 구축

항만, 도시, 항만도시의 정책목표는 차이가 있다. 예를 들면 항만은 물동량 창출을 목표로 하고, 도시는 다양한 산업 유치를 통한 부가가치 창출을 목표로 하고 있다. 하지만 항만도시는 항만산업뿐만 아니라 도시산업이 상호 발전할 수 있도록 발전 목표를 설정해야 한다. 운송 관점에서도 항만은 화물 중심, 도시는 사람의 이동 중심으로 도로체계를 설정하지만, 항만도시는 화물과 사람이 안전하고 효율적으로 이동할 수 있는 도로체계를 설정해야 한다.

항만도시를 만족하는 계획을 수립하기 위해서는 항만전문가와 도시전문가가 협력하여 항만도시 계획·운영 방향을 설정할 수 있는 체계를 마련해야 한다.

〈표 6-1〉 항만, 도시, 항만도시의 정책목표 설정

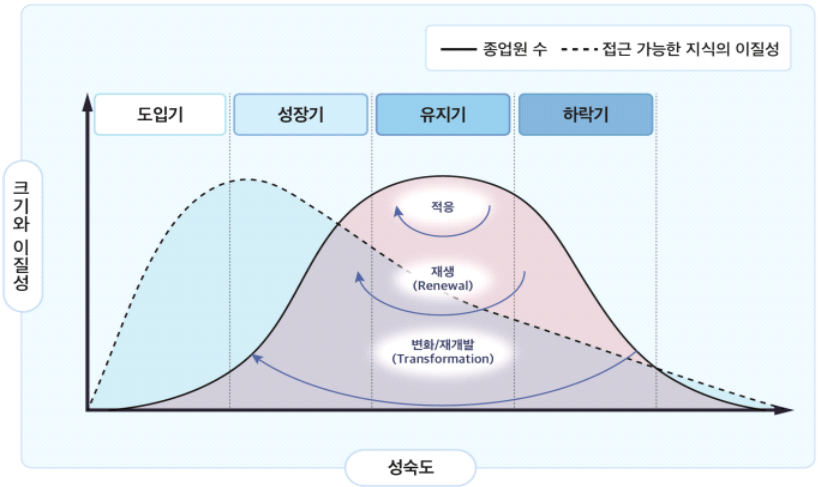
구분	항만	도시	항만도시
기능	• 국제 해상 화물 교역	• 도시민 주거 및 생활 지원	• 항만과 도시기능 모두 지원
경제	• 항만 물동량	• 부가가치 • 다각화	• 스마트 항만도시 성장 전략 • 해운 클러스터
운송	• 화물	• 승객	• 화물과 승객 교통량 공존
노동	• 효율성	• 고용	• 고부가가치 항만도시 관련 고용
환경	• 제한적 영향	• 삶의 질	• 녹색성장
토지이용	• 화물처리 • 제조업	• 도시 워터프론트	• 항만기능 고려 혼합 개발
구조적 타당성	• 산업클러스터	• 집적 효과를 가진 네트워크	• 혼합

자료: OECD(2013), p. 151 기반 저자 작성

항만도시는 살아있는 유기체이므로 항만의 라이프사이클을 고려해서 항만과 도시의 개발 방향을 설정하는 것이 필요하다. 또한 ICT 기술발전으로 기존 항만시설물을 모두 철거하고 새롭게 전면 재개발하지 않고 시설물을 유지하면서 재생하는 방식이 가능해졌다. 즉 항만도시 재생은 항만시설물 하드웨어는 유지한 상태에서 소프트웨어가 업데이트되는 형태이다.[117] 항만 쇠퇴기에는 재개발을 주로 했으나(미국 볼티모어항, 스페인 빌바오항), 4차 산업혁명 기술 적용으로 항만재개발이 아닌 항만기능을 재생하는 방향으로 전환이 가능할 것으로 판단된다.

117) 유현준(2018), pp. 107-108 기반 저자 재구성.

〈그림 6-2〉 항만의 라이프사이클에 따른 재개발 방식

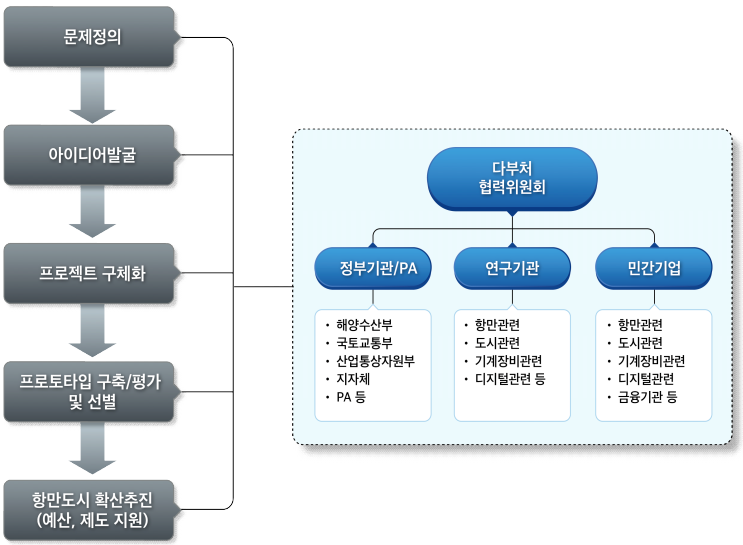


자료: OECD(2013), p. 85 기반 저자 작성

또한 성공적인 스마트 항만도시를 만들기 위해서는 무엇보다 항만공간을 포함한 해양공간에 대한 인식부터 변화되어야 한다. 해양공간을 육지의 대체공간으로 여기고 화물을 취급하는 더러운 공간이라는 인식에서 전환이 필요하다. 이를 위해서는 해양공간에 대한 가치를 새롭게 인식하고 해양공간에 지속가능한 생활환경을 만들어나가야 하며, 항만, 도시 관계자뿐만 아니라 항만도시민을 대상으로 한 스마트시대 항만도시 상생발전에 대한 교육·홍보 및 적극적인 시민참여를 유도하는 것이 필요하다.

스마트 항만도시 구축과 항만도시의 문제를 해결하기 위해서는 산·관·학·연 모두 참여하여 아이디어 발굴, 프로젝트 구체화, 프로토타입 구축, 다부처 협력하에 제도 개선 및 항만도시 전체 확산 등의 과정을 거쳐야 한다. 이를 위해서는 해양수산부, 국토교통부, 산업통상자원부, 지자체, PA 등의 협력체계 구축이 필수적이다.

〈그림 6-3〉 스마트 항만도시 구축 다부처 협력위원회 및 업무추진도



자료: 저자 작성

(2) 스마트항만-도시 정보 모니터링 통합운영 플랫폼 구축

항만물동량을 운송하는 화물트럭의 증가로 인한 항만도시의 교통혼잡 현상과 항만에서 배출되는 대기오염물질로 인한 도심의 대기질 저하가 항만과 도시의 대표적인 상충문제이다. 우선 도심의 교통혼잡을 완화하고, 항만과 도시의 물류 효율성을 제고하기 위해서는 ICT를 활용한 최적화 시스템, 통합관제시스템, 무인자동화 시스템 등의 개발이 필요하며, 이를 위해서는 관련 정보의 원활한 연계가 선행되어야 한다. 항만도시의 대기질 개선을 위해서는 친환경 선박, 배출가스 저감장치, 항만장비의 전기화, AMP 도입 등 대기오염물질 배출을 원천적으로 감소시키는 것이 필요하며, 동시에 항만과 도시 대기질의 지속적인 관리 및 감시체계를 마련하기 위해서는 정보공유 및 연계가 선행되어야 한다.

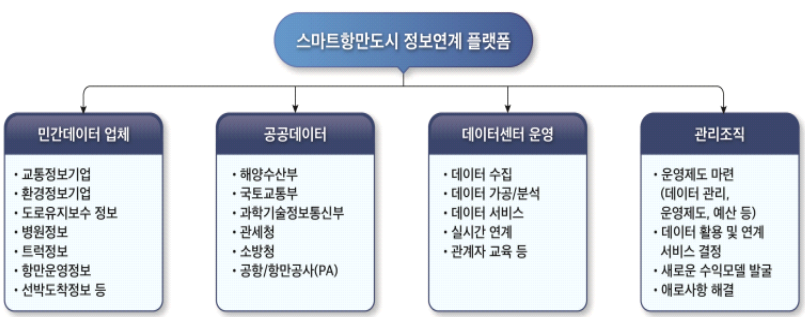
현재 국내 일부 항만에서는 화물트럭 운전사에게 터미널 게이트 인근 교통 현황을 확인할 수 있는 CCTV 정보를 제공함으로써 항만 교통혼잡을 줄이기 위해 노력하고 있다. 그러나 이러한 시스템은 현재 상황에 대한 정보만을 제공하고 있어 계획 수립 및 전망에 이용하기는 제한적이다. 일반적으로 터미널에서는 선박의 입출항 및 화물 반출입에 따른 다양한 데이터를 보유하고 있으며, 이를 기반으로 향후 터미널에 출입할 화물트럭의 수를 전망할 수 있다. 동시에 도시에서도 지속적으로 수집되는 교통데이터를 보유하고 있으며, 터미널에서 보유하고 있는 데이터와 연계함으로써 특정 일자 및 시간대에 교통량을 예상할 수 있을 것으로 판단된다.

항만의 이동 경로별 배출원 파악 및 통제 방안을 우선 마련해야 한다. 우선 경계해역에서 항만까지 선박속도 제한 및 연료유 통제 등을 실시하고, 항만 내 선박 접안 시 육상에서 전력을 공급(AMP)하여 미세먼지 발생 통제를 실시할 수 있다. AMP 사용을 위해서는 전력장비 위치에 접안을 위한 도선시간(0.5hr) 추가 소요가 요구되나, 전력 공급 후 안정화 시간(1.5~2hr) 소요 및 기술자 추가 소요 등으로 선사 및 운영사 모두 이를 원하지 않는 상황이다. 이에 항만 기인 대기질 개선을 위해서는 공공부문의 정책적 선투자 및 강력한 규제를 통한 정착 유도가 불가피하다. 한편 항만 내 하역장비 배출가스를 저감하기 위해 연료 전환 및 배출가스 저감장치를 부착하고 있으나, 항만하역장비는 '자동차'로 등록되지 않고 운영사가 구매하여 사용 중으로 자동차와 같은 정기적인 배출가스 검사 등이 이루어지지 않고 노후 장비에 대한 통제기능도 전무하다. 이에 항만하역장비의 배출가스를 관리하기 위해서는 하역장비 등록 및 관리기관의 설정이 우선 필요하다.

현재 선박의 발생 미세먼지는 연료 성분을 기반으로 계수를 통해 산정하고 있으며, 실질 배출구 조사를 통한 자료는 없는 실정이다. 선박 배출 미세먼지량을 직접 측정하기 위해서는 대표 선박을 선정하고 다양한 측정방법으로 실 측정자료를 획득해야 한다. 현재 대표 선박 지정의 어려움이 존재하고 단시간 정박 후 이동하는 선박의 특성상 실 측정자료 획득이 힘든 실정이다. 이에 실 측정대상이 되는 선박에 대한 인센티브 제도가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시한 선박 기인 미세먼지의 항만도시 확산 정도를 파악하기 위해서는 도시별로 대기확산모형을 분석하기 위한 데이터 구매가 선행되어야 한다. 항만 대기질 개선을 위한 정보연계를 위해서는 이러한 정보를 생성, 측정, 관리하는 기관을 지정하고 필요 예산을 지원하는 것이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

해운-항만-도시의 물류정보, 환경정보 등의 연계를 위해서는 스마트 항만도시 정보연계 플랫폼이 필요하다. 해당 플랫폼에는 민간데이터 제공업체, 공공데이터 제공기관, 데이터센터 운영조직, 관리조직 등이 있고, 해당 정보를 지속적으로 업데이트하고 서비스 등을 발굴하는 것이 필요하다.

〈그림 6-4〉 스마트 항만도시 정보연계 플랫폼 체계도



자료: 저자 작성

3) 추진 주체 및 로드맵

스마트 항만도시 통합운영체계 구축을 위해서는 스마트 항만도시 정책목표 설정 및 다부처 협력체계 구축, 스마트항만-도시 교통, 환경, 에너지 수급정보 모니터링 통합운영 플랫폼 구축이 필요하다. 이를 위해서는 해수부, 국토부, 산자부, 관세청, 과기부 항만공사, 관련 기업, 다부처 협력위원회 등이 협력하여 단계적으로 추진하는 것이 요구된다.

〈표 6-2〉 스마트 항만도시 통합운영 체계 구축 추진주체 및 로드맵

구분	2021	2022	2023	2024	2025	추진주체
① 스마트 항만도시 정책목표 설정 및 다부처 협력 체계 구축	위원회 구성	위원회 운영				• 해수부, 국토부, 산자부 등 정부기관 및 지자체 • 항만공사 • 다부처 협력위원회
② 스마트항만-도시 정보 모니터링 통합운영 플랫폼 구축	기획	플랫폼 개발		플랫폼 운영 및 관리		• 해수부, 국토부, 산자부, 관세청, 과기부 등 정부기관 및 지자체 • 항만공사 및 민간기업·연구원 • 다부처 협력위원회

자료: 저자 작성

2. 스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성방안

1) 목적

부산항, 인천항, 광양항 등의 항만도시 LQ 지수 분석결과, 항만산업은 발전되어 있으나 디지털 산업은 발전되어 있지 않다. 그러므로 향후 우리나라 항만도시가 스마트 항만도시로 발전할 수 있도록 디지털 문해력이 뛰어난 인재 및 기업 등의 육성이 필수적이다.

2) 추진방안

(1) 스마트항만 디지털 스타트업 클러스터 조성

우리나라 항만도시는 항만산업은 육성되어 있으나, 배후지에 디지털 산업 육성이 미흡한 편이다. 이를 개선하기 위해서는 스마트 항만도시와 관련된 디지털 기술기업, 관련 교육기관이 협력할 수 있도록 클러스터를 구축하는 것이 필요하다.

항만-도시 연계 발전을 위한 시장 조성을 위해서는 기능 개선에 대한 필요성(수요), 적용 가능한 기술(공급) 홍보 등이 지속적으로 공유되어 '제안→도입→확대'의 순환체계가 요구된다. 특히, 타 분야와의 연계, 신규 아이디어(수요), 스마트업(공급)이 지속적으로 반영될 수 있도록 별도의 방안이 마련되어야 한다.

프랑스 스테이션F는 2017년 기차역을 개조하여 스타트업 육성 캠퍼스를 조성했다. 스테이션F는 'La French Tech' 정책을 기반으로 프랑스 지역의 스타트업 육성을 위한 생태계를 만들기 위해 조성된 것이다. 창업자와 소외된 계층 기업가를 지원하는 프로그램이 있으며, 페이스북, 네이버라인, 마이크로소프트, 구글, 애플 등이 참여하여 신생 스타트업을 위한 육성 프로그램을 진행하고 있다. 스테이션F 10분 거리에 거주할 수 있는 생활공간을 조성하여 해당 프로그램에 참여하는 인력의 원활한 기술개발이 가능하도록 하고 있다. 해당 캠퍼스 내에는 메이커 스페이스가 있는데, 장비는 시간당 30유로, 소프트웨어는 시간당 19유로를 내면 해당 시설 내에 있는 것을 2~4시간 동안 사용 가능하다. 스테이션F의 PortXL와의 차이는 엑셀레이터 기능뿐만 아니라 문화, 거주공간을 제공하고 있다는 것이다.

(2) 스마트 항만도시 관련 기술기업 유치 및 진입장벽 해소

초기에는 스마트항만의 기능을 지원할 수 있는 산업부터 도시에 배치하고, 향후에는 연계, 활용을 할 수 있는 시장을 창출하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 스마트항만으로 발전함에 따라, 항만의 기능이 단순 물류이동부터 데이터, 자동화, IT, 금융 등으로 다변화되며, 이에 따라 해당 기능유지를 위해 필요한 기업체들을 항만도시에 유치하는 것이 필요하다. 예를 들면, 항만 자동화를 위한 제어, 장비 등에 대하여 지역 가점부여 등을 통해 항만도시 내 업체를 유치하는 것이 필요하다. 또한 항만의 기능 중 환경적인 피해가 작고, 물리적으로 항만에 인접할 필요가 없는 신규 기능에 대해서는 도심 내 기능을 배치하여, 항만 내 공간 절약 및 도시 내 산업 육성이 필요하다. 예를 들면, 항만 내 물류데이터 처리·가공과 관련한 IT 기업 및 스타트업 기업의 항만도시 내 배치 유도가 필요하다.

항만 및 도시 관련 산업은 역사가 오래된 분야이며, 기존 산업은 항만 또는 도시에만 관행적으로 집중되어 있다. 새로운 산업 진출의 공감대가 형성되지 않는 한, 기존 민간업체의 자발적 발전을 통해 새로운 산업으로 진입하기가 어려운 편이다. 또한 새로운 산업을 위한 신규업체 진출 시 기본 산업체들의 사업영역 축소를 우려한 반발, 시행착오 등에 따라 정착이 어렵다. 다만, 해외에서 신규 산업이 정착된 경우, 자금력과 경험을 축적한 해외기업이 국내로 진출 시 국내 기존 산업의 대응도 어렵다. 현재 수요자 입장에서는, 스마트 항만도시의 새로운 서비스의 필요성 또는 문제점에 대하여 의견을 표출할 수 있는 창구가 부재하고, 기본 또는 신생업체가 새로운 산업에 대한 아이디어를 확보할 수 있는 방법이 제한적이다. 이러한 진입장벽을 해소하기 위해서는 정부·지자체 등이 중심이 되어, 시범사업을 통한

초기 산업 진출기반 마련이 필요하다. 초기투자비가 낮고 창의력이 필요한 SW 분야는 공모형식[118] 등으로 추진하여 자유롭게 새로운 산업이 진출할 수 있는 기회를 보장하는 것이 필요하다.

그리고 기존 산업은 업무 확대에 대하여 소극적일 가능성이 높아 초기에는 새로운 산업을 추진 가능한 기업과 업무연계를 통한 즉각적인 사업추진 동력이 요구된다. 예를 들면 도시-항만 화물운송업체에 대하여, 위치기반 정보시스템을 제공할 수 있는 신규 벤처기업을 매칭하고, 시행착오를 고려해 일정 기간 정부 지원이 필요하다.

(3) 스마트 항만도시 장비 및 소프트웨어 기업 육성방안

국내 항만장비 산업은 중국의 저가 덤핑 전략에 의해 쇠퇴하기 시작했다. 당시 기술력으로 무장했던 현대삼호, 두산중공업 등 우리나라 항만장비 기업들도 중국 ZPMC의 저가 물량 공세에 못 이겨 결국 항만부문 사업을 접기 시작했으며, 현재는 시장점유율이 거의 0%에 가깝다. 하지만 최근 중국 ZPMC가 점차 가격을 올리기 시작했고 국내 항만장비들의 가격경쟁력 또한 회복되기 시작했다. 특히 정부 및 항만공사를 중심으로 국내 항만장비 산업의 재부흥을 위해 국산 장비 구입을 우선 추진함에 따라 국내 항만장비 기업들의 재진출이 가시화되고 있다.

국내 항만 정보시스템 전문기업으로는 토탈소프트뱅크, 싸이버로지텍이 있으며, 주로 컨테이너 터미널 운영과 관련된 계획, 통제 등을 수행하는 터미널운영시스템(TOS: Terminal Operating System)을 개발하고 있다. 세계 1위인 미국 Navis에 맞서 어느 정도 시장을 점

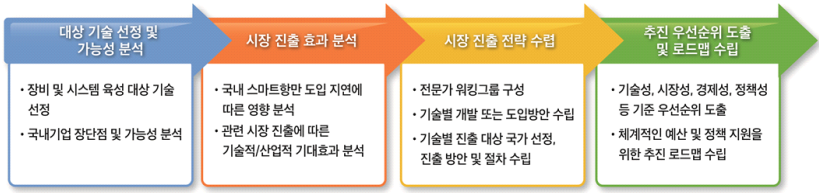
118) 초기 투자비, 창의력 정도에 따라 불편접수 및 개선 아이디어, 사업제안, 공모전, 대학생 콘테스트, 해커톤 등 다양한 방법 적용 가능.

유하고 있으나 시장 확장에는 많은 어려움이 따르고 있는 것으로 조사되었다. 이를 위해서는 먼저 육성 대상기술 선정 및 국내 기업의 장단점, 가능성 분석이 선행되어야 한다. 예를 들어 해측까지 완전무인자동으로 동작하는 STS(Ship-To-Shore) 크레인은 전 세계적으로 상용화되지 않았기 때문에 이를 목표로 기업들을 육성한다고 하면, 우리나라에 어떤 기업들이 있는지, 그리고 이들이 가진 능력으로 시장 진출 가능성이 있는지를 먼저 분석해보아야 할 것이다.

두 번째로 가능성 있는 기술 분야를 대상으로 진출 효과를 분석해야 할 것이다. 이를 위해 스마트기술을 국내 항만에 도입하지 않거나 지연했을 경우 어떠한 악영향이 발생하는지 분석하고, 반대로 적극적으로 도입했을 때 얼마나 많은 효과가 있을지 분석해야 한다. 이를 기반으로 우리나라 기업이 해당 시장에 진출했을 때 기술적, 산업적으로 어떤 영향을 미칠 것인지 사전에 분석함으로써 육성의 시급성과 필요성을 확보해야 한다.

다음으로 기술 분야별 진출전략을 수립해야 할 것이다. 이를 위해서는 관련 전문가들로 구성된 워킹그룹 운영이 필수이며, 기술별로 어떻게 개발 또는 도입할 것인지부터 대상 국가, 방안 및 절차 등을 수립해야 한다. 예를 들어 정보시스템의 경우, 최근 IoT 및 AI 기술의 등장으로 기존 시스템의 성능 향상이 기대되고 있으므로 이를 기반으로 하는 TOS 및 PCS를 개발해 기존 Navis와의 차별화를 강조함으로써 개도국 시장을 먼저 점유해 나가는 것도 하나의 전략으로 볼 수 있다. 마지막으로 기술성, 시장성, 경제성, 정책성 등을 기준으로 기술별 추진 우선순위를 도출하고 로드맵을 작성함으로써 진출 가능성 및 효과가 높은 기술들을 체계적으로 지원하는 방안을 마련해야 할 것이다.

〈그림 6-5〉 스마트 항만도시 관련 장비 및 정보시스템 기업 육성방안



자료: 저자 작성

3) 추진주체 및 로드맵

스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성을 위해서는 스마트 항만도시 디지털 스타트업 클러스터 조성, 스마트 항만도시 관련 기술기업 유치 및 진입장벽 해소, 스마트 항만도시 장비 및 소프트웨어 기업 육성방안을 마련해야 한다. 스마트 항만도시에 필요한 장비, 소프트웨어를 개발하고 관련 인력을 육성하기 위해서는 해수부, 국토부, 과기부, 중소벤처기업부, 지자체, 교육부, 다부처 협력위원회 등이 협력하여 이를 단계적으로 추진하는 것이 필요하다.

〈표 6-3〉 스마트 항만도시 구축을 위한 디지털 산업 육성 추진주체 및 로드맵

구분	2021	2022	2023	2024	2025	추진주체
③ 스마트 항만도시 디지털 스타트업 클러스터 조성	기획	조성		확대		• 해수부, 국토부, 과기부, 중소벤처기업부 등 정부기관 및 지자체 • 다부처 협력위원회
④ 스마트 항만도시 관련 기술기업 유치 및 진입 장벽 해소		입주자 모집	매핑 작업	기업/인재육성 및 Scale-up		• 해수부, 과기부, 중소벤처기업부 등 정부기관 및 지자체, PA • 다부처 협력위원회
⑤ 스마트 항만도시 장비 및 소프트웨어 기업 육성 방안 마련		육성 및 프로젝트 참여 주선			개발/양산	• 해수부, 과기부, 중소벤처기업부, 교육부 등 정부기관 • 지자체 및 PA • 다부처 협력위원회

자료: 저자 작성

3. 스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 및 추진방안 마련

1) 목적

스마트 항만도시 구축은 대규모 재원이 요구되고, 건설 범위가 광범위할 뿐만 아니라 영향을 받는 거주민 등이 많기 때문에 시민참여 및 관련 정부기관의 협력이 필수적이다. 또한 스마트 항만도시는 기존에 구현해본 경험이 있는 형태가 아니고 스마트항만, 스마트도시 개념이 복합될 뿐만 아니라 항만과 도시가 상생 발전하는 신개념이므로 본 사업 추진 전에 시범사업 등을 통해 개선점을 찾는 것이 필요하다. 즉 그린필드, 브라운필드 방식의 스마트 항만도시를 효율적으로 조성, 관리, 운영하고, 산업진흥을 하기 위해서는 법·제도적 지원장치가 필요하다.

2) 추진방안

(1) 스마트 항만도시 관련 투자재원 마련

투자재원 방식은 크게 세 가지로 구성된다. 첫 번째는 개발이익을 통한 투자재원 마련 방식이다. 스마트 항만도시 조성과 같이 대규모 개발사업의 개발이익(기반시설 조성비)을 활용하여 추진하는 방식이다. 예를 들면 신도시 조성 시 개발이익의 일부를 환수하여 도시 내 공공 기반시설을 구축하는 데 활용하고 있으며, 스마트도시 역시 2008년 「유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률」을 제정하고 지자체가 자체 활용하는 자가통신망, 데이터를 통합하여 관리 운영할 수 있는 도시통합 운영센터, 교통 및 방범 부문과 같이 도시 내 수요가 가장

높은 서비스 부문을 운영하기 위해 지능화된 시설물 구축에 개발이익의 일부를 투입하여 건설 재원으로 활용하고 있다. 이처럼 대규모 개발에 기반한 스마트 항만도시를 추진하는 경우 개발이익의 일부를 환원할 수 있도록 제도적 절차를 마련하고, 동시에 스마트 항만도시에 필수적일 수 있는 기반시설을 법적으로 명시하여 이들 기반시설은 필수적으로 사업자들이 구축하고 이후 관리운영 주체에게 기부채납할 수 있도록 추진해야 한다. 예를 들면 스마트시티에서는 2008년 「유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률」을 제정하였는데 유비쿼터스도시의 필수 인프라로 통신망, 도시통합 운영센터 및 지능화된 시설을 규정하여 유비쿼터스도시로 인정받기 위해서는 이들 인프라를 개발이익을 통하여 구축하도록 유도하고 있다.

두 번째는 중앙정부 및 지자체의 재원 투자 방식이다. 즉, 도시재생사업 및 기존 도시형 스마트시티 추진 등과 같이 중앙정부 및 지자체의 공공재원 투입을 통하여 사업을 추진하는 경우이다. 기존의 낙후된 지역을 개발하거나 이미 존재하는 문제를 해결하기 위하여 기존 인프라에 스마트기술을 접목하는 방식의 사업 추진으로, 문제가 발생한 지역의 경우 대체로 노후화되고 낙후된 곳이 많기 때문에 지역 자체 재원을 통하여 추진하기에는 어려움이 있다. 따라서 이 경우는 중앙정부 차원의 재원 지원을 통하여 그 지역 개발을 지원한다. 일반적으로 낙후된 지역 또는 도시, 항만 등 문제가 많은 지역에 지원하는 경우 각 지자체에서 문제 해결을 위한 방안을 기획하여 중앙정부에 제시하고, 중앙정부 차원에서는 공공재원을 투자할 경우 효과성이 높은 지역을 채택하여 지원하는 방식이다. 일반적으로 중앙정부의 공모를 통하여 지자체 등 그 지역의 현황을 잘 파악하는 주체가 해결 방식을 기획 및 제시하며, 그중에서 우수한 것을 채택하여 지원하기 때문에

문제 해결의 효과가 높게 나타날 수 있다. 또한 상향식의 수요자 중심적 접근이기 때문에 사업 추진의 만족도 역시 높게 나타날 수 있다. 또한 중앙정부의 공모 방식이기 때문에 더 나은 성과가 나올 수 있도록 공모 방식을 다양화하여 추진하는 것이 가능하다.

세 번째 방식은 민간기업 주도의 SPC 추진방식이다. 국가시범도시와 같은 스마트시티 사업에서는 사업 구축 및 운영을 민간기업 중심의 SPC를 설립하여 추진하는 방식을 채택하고 있다. 이 방식은 명확한 수익 창출이 가능한 비즈니스 모델이 존재한다고 판단되는 경우 민간 투자를 유도하고 이를 운영할 수 있도록 민간 SPC 중심의 재원 조달 및 사업을 추진한다. 수익 창출이 가능한 사업의 경우 민간이 선투자하도록 유도하며 장기간의 사업 운영까지 역할을 할 수 있도록 하여 스마트시티, 스마트항만의 구축과 운영이 동시에 해결된다. 예를 들면 스마트시티 국가시범도시 사업에서는 사업의 구축 및 운영 주체를 민긴기업 중심의 SPC로 하고 있으며, 「스마트도시법」상 민간 SPC 추진이 가능할 수 있도록 법적 기반을 마련하였으며 국가시범도시 지역에 한하여 규제 샌드박스 제도를 활용하여 민간기업들이 보다 자유롭게 새로운 실험을 할 수 있도록 하고 수익 창출에 유리한 인센티브를 마련하여 사업을 추진했다. 명확한 수익모델이 초기에 마련되어야 하기 때문에 사업이 실패할 가능성이 낮으며 초기 재원을 민간에서 투자하기 때문에 재원 마련이 보다 용이하다. 일반적으로 사업적으로 수익 창출이 가능한 인센티브를 부여하는 동시에 10년에서 20년 정도 서비스 등을 운영하여야 하는 의무를 부여하기 때문에 구축 이후 안정적 운영 역시 기대할 수 있기 때문에 스마트시티 관련 사업 추진에 유리하다. 하지만 스마트 항만도시 사업은 공공적 성격이 높은 사업이 다수 존재할 것으로 예상되어 수익 창출에

제한적인 경우가 많으며, 초기 예측된 수익사업들 역시 기존에 추진되지 않았던 새로운 신규사업인 경우가 많아 실제 사업을 운영할 때 예상한 만큼의 수익이 창출되지 않을 경우 사업 중단 등의 문제 발생 여지가 있다. 또한 많은 SPC 사업들이 초기 사업 추진 시 기대수익을 과장되게 예측하는 경우가 많아 장기적으로 사업이 추진될 때 지속적으로 공공재원을 투입하여야 하는 경우 역시 발생할 수 있다. 결과적으로 공공재원을 절감하기 위하여 추진되었던 사업이 장기적으로는 더 많은 공공재원이 투입되는 등의 부작용이 존재한다.

(2) 스마트 항만도시 시범사업 추진

스마트 항만도시 시범사업은 전면 스마트 항만도시 구축(그린필드), 기존 항만도시 스마트화 실증(브라운필드) 두 가지 방식이 있다.

첫째, 그린필드 스마트 항만도시 개발 방식이다. 스마트시티의 그린필드 추진방식을 참조하여 스마트 항만도시를 추진하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 스마트시티의 경우 해외 사업으로 중동 사우디아라비아의 네옴시티 프로젝트가 대표적이며, 국내의 경우 세종 5-1 생활권 지역과 부산 에코델타시티 지역의 스마트시티 국가시범도시 프로젝트가 대표적이다. 사우디아라비아 네옴시티는 약 5,000억 달러의 재원을 투입하여 초고속열차 하이퍼루프를 비롯하여 인공 강우, 안면인식 기반 치안관리, 로봇 비서, 비행 택시, 인공달 등 영화에서나 볼 수 있을 것 같은 최첨단 기술 경연장으로, 기획·도시에 필요한 모든 동력원은 태양광, 풍력 등의 재생에너지를 사용하며, 배달 및 경비 등의 단순 업무는 로봇이 담당하고, 도로에는 무인자동차를 운행할 예정으로 2025년 1단계 완공 후 2030년까지 완성할 계획이다.[119]

119) 중앙시사매거진, 「중동 각국이 '스마트시티' 경쟁 벌이는 이유는 포스트 석유패권 시대 왕좌

세종 국가시범도시는 개인차량 소유를 금지하는 구역을 설정하고, 공유차 및 무인차 등을 운행할 예정이며 부산 국가시범도시는 로봇을 중심으로 하는 로봇 플랫폼 등을 운영할 계획이다. 스마트시티와 같이 스마트 항만도시에 대해 백지상태에서 전면적 개발 방식을 채택하면, 일반적으로 사업기간이 장기간 소요되며 투입되는 재원 역시 대규모이고 기존의 틀에서 벗어난 매우 혁신적인 사업 추진이 용이하다는 장점이 있다. 또한 사업 성공 시 그 파급효과도 매우 크게 나타날 것으로 예상된다.

두 번째, 기존 항만도시의 스마트화를 통한 도시문제 해결을 위한 실증 방식은 해외의 경우 유럽의 스마트시티 사업들이 대표적이며 국내의 경우 스마트시티 챌린지 사업이 대표적이다. 유럽의 스마트시티 실증 방식은 시민의 참여를 기반으로 작은 규모의 실증을 우선 추진하여 성과가 확보되면 이를 타 지역으로 확산하는 방식을 채택하여 추진했다. 스마트시티 챌린지 사업은 기존 도시 문제를 해결하고 서비스 운영을 통한 행정비용 감소 및 수익 창출 등을 성과목표로 하는 지자체와 민간기업이 공동 참여하는 복합적 실증사업의 성격을 지니고 있다. 기존 도시지역의 스마트화를 위한 실증은 일반적으로 시민-기업-공공의 거버넌스를 추진주체로 하여 명확한 도시문제 해결의 정량적 성과를 설정하고 이를 달성하기 위한 실증을 추진하며 단순히 기술적 실증뿐만 아니라 경제적, 제도적 및 사회적 실증을 복합적으로 활용해야 한다.

신규 스마트 항만도시 건설 시 대규모 사업을 추진하기 위해서는 법적으로 특별구역 지정과 같은 절차를 통하여 추진하는 것이 용이하며 특구의 형태로 추진 시 법적으로 다양한 인센티브를 확보하여

노린다」(검색일: 2020. 6. 25)

추진하는 것이 유리하다. 기존 도시지역의 스마트화는 복합적 실증 방식을 채택하여 우수 성과를 객관적으로 확보하고 실증이 실증에서 끝나는 것이 아닌 향후 확산을 위한 재료로 작용할 수 있도록 발굴-실증-확산 3단계로 연계되는 사업을 체계적으로 설계할 필요가 있다.

(3) 스마트 항만도시 조성 공감대 형성 및 확산방안 마련

기존 도시 및 항만도시와 스마트도시 및 스마트 항만도시 간 차이점은 데이터를 기반으로 서로 다른 분야 간 연계·통합을 통한 보다 효율적인 운영 방식이다. 분야 간 연계·통합을 통한 보다 효율적이며 새로운 운영 방식의 사업이라는 측면을 고려할 때 기존의 시범사업과 다르게 고려하여야 할 사항이 다수 존재하며 이러한 고려사항을 사업에 전반적으로 반영하여야 성공적 사업 추진이 가능하다.

첫째, 정량적 목표-KPI 설정과 사업 추진상 성과달성 여부의 지속적 점검이 필요하다. 기존에 존재하지 않았던 새로운 방식에 대한 실증으로 그 성과를 예측하기에 어려움이 존재하므로 정량적 목표 설정과 사업 추진 과정에서 성과달성 여부를 지속적으로 파악하는 것이 중요하며, 이는 스마트시티의 국제표준 등 글로벌 측면의 스마트시티에 있어서도 필수적 구성요소로 인식되고 있다.

둘째, 수평적 거버넌스 체계 마련이 필요하다. 스마트 항만도시는 연계와 통합을 효율성에 대한 작동원리로 활용하고 있으며, 이러한 특성은 플랫폼이라는 단어로 인식되고 있기 때문에 각각의 분야에서 자신의 역할 수행도 필요하지만 각 분야가 서로 연계 통합될 수 있도록 플랫폼과 같은 기술적 부문과 각각의 역할 수행 주체 간 협력 등과 같은 행정조직의 연계 통합을 동시 고려하여 사업이 추진될 수 있도록 해야 한다.

셋째, 규제 개선책 마련이 필요하다. 스마트 항만도시는 기존에 존재하지 않았던 새로운 분야의 지속적 등장 및 혁신이 중시되며, 이러한 성격으로 인하여 기존 규제들과의 지속적 충돌이 발생하기 때문에 시범사업 추진 시 규제 샌드박스의 적용 또는 특례 적용 등과 같은 제도적 부문에 대한 고려가 반드시 필요하다.

넷째, 사회적 갈등 해소방안 마련이 필요하다. 스마트 항만도시는 완전하게 새로운 산업을 창출하기보다 기존의 산업보다 더 효율적 방식의 산업으로 전환되는 경우가 대부분이기 때문에 기존 산업군과 갈등을 기본적으로 가지고 있으며 시범사업 추진 시 이러한 갈등을 해소하기 위한 방안을 동시 고려하여야 성공적 사업 추진이 가능하다.

다섯 번째, 시민의 참여를 유도해야 한다. 스마트 항만도시의 작동방식은 기본적으로 서비스 형태이기 때문에 시민이 서비스를 이용하지 않는다면 결과적으로 예상된 성과를 달성하기에 어렵기 때문에 시민들이 서비스에 익숙해지고 이에 대한 신뢰를 높이는 동시에 적극적으로 서비스 이용을 할 수 있도록 방안 마련이 필요하다. 예를 들면 구글 사이드워크랩 토론토 스마트시티 사업 중단은 구글의 서비스 방식에 대한 시민의 불신으로 인하여 비롯된 것이다.

여섯 번째, 서비스의 경제성을 확보해야 한다. 스마트 항만도시의 수익성을 고려하지 않은 첨단기술의 경연장으로 만드는 방식을 채택하게 되면 초기 이슈화는 될 수 있지만 장기적으로 볼 때 사업의 지속가능성을 확보하기에 어려움이 존재한다. 예를 들면 아부다비의 마스다르시티 프로젝트는 탄소제로 도시를 지향하며 전 세계의 이목을 받았지만 현재는 경제성을 고려하지 않은 첨단기술들로 인하여 사업이 실패한 것이 아닌지 부정적 의견이 다수 존재한다.

일곱 번째, 시범사업의 확산이 필요하다. 실증 및 시범사업의 최종

목표 중 하나는 사업의 성공적 성과를 확산하여 산업 시장을 창출하고 산업화될 수 있도록 하는 것이며, 이를 위하여 시범사업 추진 시 개별 솔루션의 향후 확산을 고려하여 확산 기준 및 표준화를 동시 추진할 필요가 있다. 유럽 스마트시티 정책에서는 초기 편협하게 지역적으로 특화된 솔루션이 결과적으로 확산을 이끌어내지 못하여 일회성 사업이 되었다. 이에 이후 사업에서는 확산을 고려하여야 함을 강조하고 있다. 스마트를 키워드로 하는 시범사업 추진 시 기존의 구축 중심의 시범사업들과 성격이 다름을 인식하고 앞에서 제시한 '스마트'의 특성을 반영하는 고려 요소들을 염두에 두고 추진하여야 성공적 사업 추진이 가능하다.

(4) 스마트 항만도시 조성을 위한 법·제도 지원체계 마련

스마트도시는 「스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률(이하 '스마트도시법')」에 따라 효율적인 조성, 관리, 운영 및 산업 진흥 등에 대한 사항이 명시되어 있다. 하지만, 스마트 항만도시는 일반적인 스마트도시와 달리 도시산업 육성뿐만 아니라 수출입과 관련된 해운, 항만 물류 지원기능이 보강되어야 함에도 이를 지원할 수 있는 법적 근거가 없다.

현재 「스마트도시법」은 스마트도시 건설에 최적화되어 있고, 관리권한이 국토교통부에 국한되어 있어 스마트항만기능을 지원하고 항만산업을 육성해야 하는 관점에서는 한계가 있다. 스마트 항만도시를 구축·지원하기 위해서는 「스마트도시법」상에 스마트 항만도시의 정의 및 범위, 구성요소 등을 정립하고, 스마트 항만도시계획의 수립이 가능하도록 해양수산부의 권한, 예산 등을 명확하게 하는 것이 필요하다. 이에 「스마트도시법」 제2장 스마트도시종합계획의 수립 등

이하의 국토부 장관 승인 부분을 국토부 장관 또는 해양수산부 장관으로 명확하게 수정하는 것이 필요하다.

〈표 6-4〉 스마트도시법 개정안

개정 전	개정 후
제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. *...(중략)...* 3. "스마트도시기반시설"이란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설을 말한다. 가.「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호에 따른 기반시설 또는 같은 조 제13호에 따른 공공시설에 건설 · 정보통신 융합기술을 적용하여 지능화된 시설 나.「지능정보화 기본법」 제2조제9호에 따른 초연결지능정보통신망, 그 밖에 대통령령으로 정하는 정보통신망 다. 스마트도시서비스의 제공 등을 위한 스마트도시 통합운영센터 등 스마트도시의 관리 · 운영에 관한 시설로서 대통령령으로 정하는 시설 라. 스마트도시서비스를 제공하기 위하여 필요한 정보의 수집, 가공 또는 제공을 위한 건설기술 또는 정보통신기술 적용 장치로서 폐쇄회로 텔레비전 등 대통령령으로 정하는 시설	**제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 3. "스마트도시기반시설"이란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설을 말한다. *...(좌동)...* **마.「항만법」에 따른 항만 및 항만배후단지의 건설·정보통신 융합기술이 적용화된 지능화된 시설**
제4조(스마트도시종합계획의 수립 등) ① **국토교통부장관**은 스마트도시의 효율적인 조성 및 관리·운영 등(이하 "스마트도시건설등"이라 한다)을 위하여 5년 단위로 다음 각 호의 사항이 포함된 스마트도시종합계획(이하 "종합계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② **국토교통부장관**은 종합계획을 수립하려는 경우에는 중앙행정기관의 장에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 종합계획에 반영되어야 할 정책 및 사업에 관한 계획안을 제출하도록 요청할 수 있다. 이 경우 중앙행정기관의 장은 특별한 사유가 없으면 이에 따라야 한다. ③ **국토교통부장관**은 제2항에 따라 제출받	제4조(스마트도시종합계획의 수립 등) ① **국토교통부장관 또는 해양수산부장관**은 스마트도시의 효율적인 조성 및 관리 · 운영 등(이하 "스마트도시건설등"이라 한다)을 위하여 5년 단위로 다음 각 호의 사항이 포함된 스마트도시종합계획(이하 "종합계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② **국토교통부장관 또는 해양수산부장관**은 종합계획을 수립하려는 경우에는 중앙행정기관의 장에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 종합계획에 반영되어야 할 정책 및 사업에 관한 계획안을 제출하도록 요청할 수 있다. 이 경우 중앙행정기관의 장은 특별한 사

개정 전	개정 후
은 계획안을 고려하여 스마트도시종합계획안(이하 "종합계획안"이라 한다)을 작성하여야 한다. 이 경우 스마트도시서비스에 관한 사항은 「지능정보화 기본법」 제6조에 따른 지능정보사회 종합계획에 포함된 행정업무 및 지역의 지능정보화에 관한 부문계획을 고려하되, 종합계획의 일관성 및 체계적 정합성(整合性) 등을 고려하여 반영하여야 한다. ④ 종합계획은 **「국토기본법」에 따른 국토종합계획**에 적합하여야 한다. ...(중략)...	유가 없으면 이에 따라야 한다. ③ **국토교통부장관 또는 해양수산부장관**은 제2항에 따라 제출받은 계획안을 고려하여 스마트도시종합계획안(이하 "종합계획안"이라 한다)을 작성하여야 한다. 이 경우 스마트도시서비스에 관한 사항은 「지능정보화 기본법」 제6조에 따른 지능정보사회 종합계획에 포함된 행정업무 및 지역의 지능정보화에 관한 부문계획을 고려하되, 종합계획의 일관성 및 체계적 정합성(整合性) 등을 고려하여 반영하여야 한다. ④ 종합계획은 **「국토기본법」에 따른 국토종합계획 및 「항만법」에 따른 항만기본계획**에 적합하여야 한다.
제23조(국가스마트도시위원회) ① 스마트도시에 관련되는 다음 각 호의 사항을 심의하기 위하여 국토교통부장관 소속으로 스마트도시위원회(이하 "위원회"라 한다)를 둔다. ...(중략)... ③ 위원장은 국토교통부장관과 제1호 및 제2호의 위원 중에서 대통령이 위촉한 1명을 공동으로 하고, **부위원장은 과학기술정보통신부차관, 행정안전부차관 및 국토교통부차관**으로 하며, 위원은 다음 각 호의 자로 한다.	제23조(국가스마트도시위원회) ① 스마트도시에 관련되는 다음 각 호의 사항을 심의하기 위하여 국토교통부장관 소속으로 스마트도시위원회(이하 "위원회"라 한다)를 둔다. ...(중략)... ③ 위원장은 국토교통부장관과 제1호 및 제2호의 위원 중에서 대통령이 위촉한 1명을 공동으로 하고, **부위원장은 과학기술정보통신부차관, 행정안전부차관, 해양수산부차관 및 국토교통부차관**으로 하며, 위원은 다음 각 호의 자로 한다.

자료: 저자 작성

3) 추진주체 및 로드맵

스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 및 추진방안 마련을 위해서는 스마트 항만도시 관련 투자재원 마련, 스마트 항만도시 시범사업 추진, 스마트 항만도시 조성 공감대 형성 및 확산방안 마련, 스마트 항만도시 조성을 위한 법·제도 지원체계 마련이 필요하다. 스마트 항만도시는 스마트도시 추진주체인 국토부, 국가스마트

도시위원회뿐만 아니라 해수부, 과기부, 행안부, 다부처 협력위원회가 단계적으로 추진할 필요가 있다.

〈표 6-5〉 스마트 항만도시 구축·운영 지원을 위한 법·제도 등의 추진주체 및 로드맵

구분	2021	2022	2023	2024	2025	추진주체
⑥ 스마트 항만도시 관련 투자재원 마련		계획 수립	투자재원 마련		운영	• 해수부, 국토부, 과기부, 행안부 • 국가 스마트도시 위원회 • 다부처 협력위원회
⑦ 스마트 항만도시 시범사업 추진			시범사업 추진		사업화	• 해수부, 국토부, 과기부, 행안부 • 국가 스마트도시 위원회 • 다부처 협력위원회
⑧ 스마트 항만도시 조성 공감대 형성 및 확산방안 마련			공감대 형성 및 장애요인 해결			• 해수부, 국토부, 과기부, 행안부 • 국가 스마트도시 위원회 • 다부처 협력위원회
⑨ 스마트 항만도시 조성을 위한 법·제도 지원체계 마련		개정안 마련	법 개정 및 제도 정비 추진			• 해수부, 국토부, 과기부, 행안부 • 국가 스마트도시 위원회 • 다부처 협력위원회

자료: 저자 작성

참고문헌

〈국내 문헌〉

Cello,「4차 산업혁명 시대의 Smart Logistics(1)」, 2018.

강무홍·이언경·이기열,『AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구』, 한국해양수산개발원, 2020. 10.

곽승준,『환경친화적 기술혁신에 대한 가치평가: 사례연구를 중심으로』, 과학기술정책연구원, 2005.

국립환경과학원,「2016 국가 대기오염물질 배출량」, 2019. 7.

김춘선·김성귀·이재원·이성우,『항만과 도시』, 블루&노트, 2014.

서동혁·김종기·문혜선·심우중·이자연,『4차 산업혁명 관련 산업분류체계 개선 및 지수 개발』, 산업연구원, 2018. 12.

유현준,『도시는 무엇으로 사는가』, 을유문화사, 2018.

이민우·이향숙,「선박 배기가스의 대기확산 패턴에 관한 연구 – 부산항을 중심으로」,『한국항만경제학회지』, Vol. 34, No. 1, 2018.

이성우,「항만도시성장의 관점에서 본 부산항 재개발 방향」,『KMI 월간해양수산』, 통권 제263호, 2006. 8.

이언경·이수영·김영훈·김효재·배정준,「디지털 연계 공동추진이 실효성 있는 스마트항만 구축의 첫걸음」,『KMI 동향분석』, 2019. 11.

이언경·강무홍·이수영·강한석·전하림,『4차 산업혁명시대 항만물류산업 고도화 방안 연구』, KMI 현안연구, 2017. 12.

이언경·김영훈·김효재·이수영·배정준·강한석·김세원·이성우·길광수 외,『스마트 항만 육성방안 연구』, 해양수산부, 2019. 12.

이언경, 최상희, 강무홍,「항만도시의 미세먼지 저감 위해 AMP 설치 서둘러야」, 2017. 6.

이창로, 이슬이, 박기호,「항만지역 화물차량이 야기하는 외부불경제 내부화 방안」,『한국지방재정논집』, 24(2), 2019.

인천항만공사 보도자료,「IPA, 국내 최초 신소재·기술 적용 친환경 방충재 개발

본격 착수…크루즈·여객선 대응 흰색 방충재 개발 가능」, 2020. 6. 7.

_____,「인천항 컨테이너 터미널 싱글윈도위 서비스 개시」, 2016.2.16

진세준 외,「선택실험법을 이용한 심해 유인잠수정 개발사업의 과학기술적 경제적 편익 추정」,『Ocean and Polar Research』, 36(3), 2014.

진세준 외,「선택실험법을 이용한 해역수질 속성의 비시장적 가치 추정: 인천 특별관리해역을 중심으로」,『해양환경안전학회지』, 24(4), 2018.

통계청,『한국표준산업분류』, 2017.

하태영·최건우·이수영,『우리나라 항만산업 고용통계조사 연구』, KMI 현안연구, 2017.

한국교통연구원 보도자료,「2015년 교통혼잡비용 33조 4천억 원(GDP의 2.16%)으로 예측 - 2010년 대비 17.0% 증가」, 2014. 4. 22.

한국교통연구원,『스마트시티 교통체계 구축전략 및 실행방안 연구』, 2018.

한진석·서은주·서원호·김승범·최윤영,『교통환경정책 수립을 위한 대기환경개선 효과 추정방안 연구 : 도로이동오염원을 중심으로.』, 한국환경정책·평가연구원, 2016.

〈국외 문헌〉

Ascencio, L. M., R. G. González-Ramírez, L. A. Bearzotti, N. R. Smith, and J. F. Camacho-Vallejo, "A Collaborative Supply Chain Management System for a Maritime Port Logistics Chain", *Journal of Applied Research and Technology*, 12.3, 2014.

Bentolila, D. J., R. K. Ziedenveber, Y. Hayuth, and T. Notteboom, "Off-peak truck deliveries at container terminals: the "Good Night" program in Israel", *Maritime Business Review*, 1.1, 2016.

Berechman, J., "Estimation of the full marginal costs of port related truck traffic", *Evaluation and program planning*, 32(4), 2009.

Berger, Roland, 「Logistics 4.0-物流ビジネスにおける新たなイノベーション」, 2015.

Berghe, Karel Van den, Wouter Jacobs, and Luuk Boelens, "The relational geometry of the port-city interface: Case studies of Amsterdam, the Netherlands, and Ghent, Belgium", *Journal of Transport Geography*, Vol. 70, 2018.

Chang, Y., Y. Song, and Y. Roh, "Assessing greenhouse gas emissions from port vessel operations at the Port of Incheon", *Transportation Research Part D*, Vol. 25, 2013.

Corbett, James. J., James. J. Winebrake, Erin H. Green, Prasad Kasibhatla, Veronika Eyring, and Lauer Axel, "Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment", *Environmental Science and Technology*, Vol. 41, No. 24, 2007.

Corner, Bryan, Elise Georgeff, and Liudmia Osipove, "Air emissions and water pollution discahrges from ships with scrubbers", ICCT(The International Council on Clean Transportation) Consulting Report, 2020. 11.

Daamen, Tom, "Sustainable Development of the European Port-City Interface", *ResearchGate*(https://www.researchgate.net/publication/228798104_Sustainable_development_of_the_European_port-city_ interface), January 2007.

D'Amico , Gaspare, Pasqua L'Abbate, Wenjie Liao, Tan Yigitcanlar and Giuseppe Ioppolo, "Understanding sensor cities: insights from technology giant company driven smart urbanism practices", *Sensors*, 20, 4391, 2020.

De Borger, B. and D. De Bruyne, "Port activities, hinterland congestion, and optimal government policies the role of vertical integration in logistic operations", *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 45(2), 2011.

Deloitte, "5G smart cities whitepaper", 2020. 1.

Ducruet, C., "A Geographical model of the European port city-tools for international comparison", Ph.D Thesis, Le Havre University, 2001.

_____, "Port-city relationships in Europe and Asia", *Journal of International*

Logistics and Trade, Vol. 4, No. 2, 2006,

Ducruet, C. and Lee, S.W., "Frontline soldiers of globalisation: port-city evolution and regional competition", *GeoJournal*, 67(2), 2006.

Giuliano, G. and T. O'Brien, "Extended gate operations at the ports of Los Angeles and Long Beach: a preliminary assessment", *Maritime Policy & Management*, 35(2), 2008a.

_____, "Responding to Increasing Port-related Freight Volumes: Lessons from Los Angeles / Long Beach and Other US Ports and Hinterlands", No. 2008/12, OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Papers, Paris: OECD Publishing, 2008b.

Gardeilchik, Jan, "Port Community System", Port Technology Edition 89: Smart Port Digital, 2019. 9.

G. Lee, "Environmental Impacts of an urban port area by adopting LNG fueled ships: An assessment framework and preliminary results", *Korea-Norway* Greenship Seminar 2015, 2015. 6. 18.

Gracia, M. D., R. G. González-Ramírez, and J. Mar-Ortiz, "The impact of lanes segmentation and booking levels on a container terminal gate congestion", *Flexible Services and Manufacturing Journal,* 244.3, 2016.

Guan, C. and R. Liu, "Modeling Gate Congestion of Marine Container Terminals, Truck Waiting Cost, and Optimization", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* 2100, 2009.

Hayuth, Yehuda, "The port-urban interface: ans area in transition", *Area*, Vol. 14, No. 3, 1982.

Hoyle, Brain S., "Cities and Ports: Concepts and issues", *VEGUETA*, No. 3, 1997-1998.

Huynh, N. and C. M. Walton, "Improving Efficiency of Drayage Operations at Seaport Container Terminals Through the Use of an Appointment System", *Handbook of Terminal Planning,* Ed. by J. W. Böse, Vol. 49, Operations Research/Computer Science Interfaces Series, New York, NY: Springer

New York, 2011.

Huynh, N., F. Harder, D. Smith, O. Sharif, and Q. Pham, "Truck Delays at Seaports", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2222, 2011.

Jaja, C. Y. "Freight traffic at Nigerian seaports: Problems and prospects", *Medwell Journal of Social Sciences*, 6(4), 2011.

Jianke, Guo, Yafeng Qin, Xiaofei Du Zenglin Han, "Dynamic measurements and mechanisms of coastal port-city relationships based on the DCI model: Empirical evidence from China", *Cities*, 96, 2020.

Jula, H., M. Dessouky, P. Ioannou, and A. Chassiakos, "Container movement by trucks in metropolitan networks: Modeling and optimization", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41.3, 2005.

Lange, A. K., A. K. Schwientek, and C. Jahn, "Reducing truck congestion at ports-classification and trends", Digitalization in Maritime and Sustainable Logistics: City Logistics, Port Logistics and Sustainable Supply Chain Management in the Digital Age, *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, Vol. 24, Berlin: epubli GmbH, 2017.

Lee, Sung-Woo, Dong-Wook Song, Cesar Ducruet, "A tale of Asia's world ports: The spatial evolution in global hub port cities", *GEOFORUM*, 39, 2008.

Long-ze Cong, Dong Zhang, Ming-li Wang, Hong-feng Xu, and LiLib, "The role of ports in the economic development of port cities: Panet evidence from China", *Transport Policy*, 90, 2020.

MACGREGOR, Container terminal automation & inttelligent cargo handling, 2018.4.

MAN Diesel & Turbo, "Tier III Two-Stroke Technology", 2012.

Mat, Nicolas, Juliette Cerceau, Lei Shi, Hung-Suck Park, Guillaume Junqua, and Miguel Lopez-Ferbe, "Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes, and adaptation processes in Asia and Europe",

Journal of Cleaner Production, 114, 2020.

McFadden, D., "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior", *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, 1974.

McKinsey, "Smart Cities: Digital Solutions for a More Livable Future", 2018. 6.

Merk, O., *The competitiveness of global port-cities: synthesis report*, OECD, 2013.

Namboothiri, R. and A. L. Erera, "Planning local container drayage operations given a port access appointment system", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44.2, 2008.

Norcliffe, Glen, Keith Bassett, and Tony Hoare, "The emergence of postmodernism on the urban waterfront", *Journal of Transport Geography*, Vol. 4, No. 2, 1996.

Notteboom, Theo and Jean-Paul Rodrigue, "Containerisation, Box Logistics and Global Supply Chains: The Integration of Ports and Liner Shipping Networks", *Maritime Economics & Logistics*, 10, 2008.

_____, "Port Regionalization: Towards a New Phase in Port Development", *Maritime Policy & Management*, Vol. 32, Issue. 3, 2010.

OECD, *The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report*, 2013.

Radu, Laura-Diana, "Disruptive Technologies in Smart Cities: A Survey on Current Trends and Challenges", *Smart cities*, 3, 2020.

Rajamanickam, G. D. and G. Ramadurai, "Simulation of truck congestion in Chennai port", 2015 Winter Simulation Conference (WSC), n.d.

Rimmer, Peter J., "Port dynamics since 1965: Past patterns, current conditions and future directions", *Journal of International Logistics and Trade*, Vol. 5, No. 1, June 2007.

Rodrigue, Jean-Paul and Theo Notteboom, "Foreland-based regionalization: Integrating intermediate hubs with port hinterlands", *Research in Transportation Economics*, Vol. 27, 2010.

Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource

Allocation", New York: McGraw-Hill, 1980.

_____, "Decision making with dependence and feedback: the analytic network process", RWS Publication, 1996.

Scire, J. S., D. G. Strimaitis, and R. J. Yamartino, "A user's guide for the CALPUFF dispersion model", *Earth Tech, Inc*, 521, 2000.

UNCTAD, Review of Maritime Transport 2018

Vanolo, Alberto, "Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy", *Urban Studies*, Vol. 51, No. 5, April 2014.

Wan, Y., A. Zhang, and A. C. Yuen, " Urban road congestion, capacity expansion and port competition: empirical analysis of US container ports", *Maritime Policy & Management*, 40(5), 2013.

World Bank, "Connecting to Compete, The logistics Performance Index and Its Indicators 2018", 2018.

World Economic Forum, "Global Competitiveness Report 2019", 2019.

Sun, Y., A. Dobrowolski, A.G. Chmielewski, O. Roubinek, A. Pawelec, and H. Nichipor, "Computer simulation of NOx removal from diesel engine off-gasis under electron beam and wet scrubber system", *Radiation Physics and Chemistry*, 171, 2020.

〈인터넷 자료〉

Alphaliner, Montly Monitor June 2020(검색일: 2020. 8. 1).

Automotive LOGISTICS, "BMW's 'connected' logistics: Shaping a self-steering supply chain", https://www.automotivelogistics.media/bmws-connected-logistics-shaping-a-self-steering-supply-chain/17234.article (검색일: 2020. 5. 27).

Bestfact, "Bestfact_Quick-info_efreight_3-105_HPA-SmartPortLogistics",

http://www.bestfact.net/wp-content/uploads/2014/02/Bestfact_Quick-info_efreight_3-105_HPA-SmartPortLogistics.pdf(검색일: 2020. 5. 27).

ChainPortal(https://www.chainportal.co.kr/, 검색일: 2020. 6. 25)

cyprusshippingnews, "Port of Piraeus vehicle logistics goes digital with INFORM", https://cyprusshippingnews.com/2020/08/21/port-of-piraeus-vehicle-logistics-goes-digital-with-inform/(게시일: 2020. 8. 21, 검색일: 2020. 8. 22).

DB SCHENKER, "Platooning in the logistics industry: Researcher see great potential in real operations after tests", https://www.dbschenker.com/global/about/press/platooning-in-the-logistics-industry-593972(검색일: 2020. 5. 27).

Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product? code=sbs_r_nuts06_r2 (검색일: 2020. 8. 21).

_____, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=sbs_r_nuts06_r2(검색일: 2020. 8. 21).

Gartner, https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-8-supply-chain-technology-trends-for-2020/(검색일: 2020.10.20)

ChosunBiz10, 「현대차 항공도시, 도요타 AI도시...CES서 내놓은 미래」, https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/01/08/2020010800100.html (게시일: 2020. 1. 8, 검색일: 2020. 10. 1).

Hellenicshippingnews, "China Mobile Ningbo, Zhejiang's 5G+ Smart Port", https://www.hellenicshippingnews.com/china-mobile-ningbo-zhejiangs-5g-smart-port/(게시일: 2020. 6. 29, 검색일: 2020. 8. 20).

ICCT, "Marine black carbon emissions reduction strategies and technologies", https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_Emissions_Control_Strategies.xlsx(검색일: 2020. 11. 19).

IBM, "A global trade platform using blockchain technology aimed at improving the cost of transportation, lack of visibility and inefficiencies with pa-

per-based processes", https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/01/digitizing-global-trade-maersk-ibm/(검색일: 2020. 5. 27).

Jordi Torrent, "The Smart Port model at the Port of Barcelona", http://portalcip.org/wp-content/uploads/2019/04/16_30_18_05_1_JORDI_TOREENT.pdf(검색일: 2020. 8. 20).

KBS,「300kg 고무방충재 바다에 방치…뒤늦게 수거」, 2019. 2. 7(검색일: 2020. 6. 16).

lloydslist, https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/one-hundred-container-ports-2016(검색일: 2020. 8. 1).

_____, https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/one-hundred- container-ports-2017(검색일: 2020. 8. 1).

_____, https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/one-hundred- container-ports-2018(검색일: 2020. 8. 1).

portdebarcelona, "The smart port model at the port of Barcelona", https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/the-smart-port-model-at-the-port-of-barcelona/(게시일: 2019. 7. 2, 검색일: 2020. 8. 20).

Portalcip, "The Smart Port model at the Port of Barcelona", http://portalcip.org/wp-content/uploads/2019/04/16_30_18_05_1_JORDI_TOREENT.pdf(검색일: 2020. 8. 20)

Port Economics, https://porteconomicsmanagement.org/?page_id=916(검색일: 2020. 8. 10).

portofgenoa, "The Ports of Genoa focus on digita: the first steps on the E-BRIDGE project", https://www.portsofgenoa.com/en/marketing-communication/news-en/2838-the-ports-of-genoa-focus-on-digital-firts-steps-e-bridge-project.html (게시일: 2020. 7. 31, 검색일: 2020. 8. 3).

porttechnology, "Piraeus becomes top Mediterranean porot", https://www.porttechnology.org/news/piraeus-becomes-top-mediterranean-port/(게시일: 2020. 5. 20, 검색일: 2020. 8. 3).

port.today, "Kalmar Port 2060: smart containers, hyperloop and personalized lo-

gistics", https://port.today/kalmar-presents-port-2060-vision/(게시일: 2017. 5. 12, 검색일: 2020. 10. 1).

STONE,「토요타가 그리는 미래도시, Woven City」, https://stonebc.com/archives/21485(검색일: 2020. 10. 1).

Worldbank, https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL(검색일: 2020. 8. 1).

국토교통부 통계누리, http://stat.molit.go.kr/portal/cate/ partStts.do?stts=0160000(검색일: 2020.6.25)

데일리로그(2014. 3. 11),「광양항 '컨'터미널 혼잡 정보 실시간 서비스 제공」(http://www.dailylog.co.kr/news/articleView.html?idxno=8099, 검색일: 2020. 6. 25)

말레이시아 인구, http://pqi.stats.gov.my/searchBI.php?tahun=2015&kodData=2&kodJadual=1&kodCiri=2&kodNegeri=01(검색일: 2020. 8. 1).

매일경제,「현대상선, 해운물류 분야 블록체인 기술도입 검증 프로젝트 성공적 완료」, https://www.mk.co.kr/news/business/view/2017/12/844856/(검색일: 2020. 5. 27).

연합뉴스,「부산신항 혼잡도 알려주는 앱…트레일러 시간낭비 줄인다」, https://www.yna.co.kr/view/AKR20170124105400051(검색일: 2020.10.3).

일본 국토교통성, https://www.mlit.go.jp/common/001249775.pdf(검색일: 2020. 8. 20).

인천일보,「항만배후단지 '혼잡 도로관리' 온도차」, http://www.incheonilbo.com/news/articleView.html?idxno=757471(검색일: 2020. 6. 25)

연합뉴스,「철도 없는 인천 신항 수송차 1일 3천 대…소음·교통 체증 우려」, https://www.yna.co.kr/view/AKR20170717147800065(검색일: 2020. 6. 25)

중앙시사매거진,「중동 각국이 '스마트시티' 경쟁 벌이는 이유는 포스트 석유패권 시대 왕좌 노린다」, https://jmagazine.joins.com/economist/view/327248(검색일: 2020. 6. 25)

태국 램차방 인구, https://www.quandl.com/data/CITYPOP/CITY_LAEMCHABANGETHAILAND-Population-of-Laem-Chabang-E-Thailand(검색일: 20

20. 8. 1).

통계청, 「전국 사업체 조사」, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1K52C01&conn_path=I3(검색일: 2020. 8. 12).

통계청, 「고령인구비율」, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1YL20631&conn_path=I3(2020. 11. 28).

한국해양과학기술원 블로그, https://blog.naver.com/kordipr/221836800380 (검색일: 2020. 5. 14).

부록

〈설문지 1〉 싱가포르 전문가 관점에서의 스마트항만-도시 동인과 효과

Appendix. Survey form for Singapore respondents

This survey is expected to take about 15 – 20 minutes to complete

1. External and internal drivers of the Smart Port and Smart City and their linkages.

Please rank the drivers listed in order of importance, with (1) being the most important. You could omit those that you feel are not of relevance.

Smart Port

- ☐ Operational excellence (that potentially results in time savings, security, traceability, etc.)
- ☐ Migrating activities (such as shift in the transport networks and trade patterns)
- ☐ Labour limitations (reducing manpower costs and improving efficiency through automation)
- ☐ New business opportunities (create value added services via application of IOT)
- ☐ Others (please specify_____)

Smart City

- ☐ Population growth
- ☐ urbanization (people moving to the cities)
- ☐ Urban planning (including urban environmental quality, air quality, and well-being)
- ☐ City infrastructure (Sanitation and water management and sewage services)
- ☐ Smart grids (Intelligent management of energy sources and energy networks)
- ☐ Smart buildings (Use of sensors to minimize energy consumption without compromising comfort and safety)
- ☐ Urban risks (Vulnerabilities, monitoring, prevention, and response to disasters in cities)
- ☐ Sustainability (Efficient management of natural resources to increase the quality of life of citizens for present and future generations)
- ☐ Mobility (Multimodal transport, intelligent urban mobility)
- ☐ Logistic solutions: Stocking, storage, transport, and distribution of products with optimization of the logistics chain

- Logistic applications (Radio-frequency identification (RFID), geographic information systems (GIS), electronic routing of goods, drones)
- Public safety (Prevention and control of crime and violence by public entities)
- Health (Quality of public health and care)
- Innovation (Development of culture, intelligence, and collective co-creation for new products, services, businesses, or processes)
- Business networks management (Network of strategic partnerships with stakeholders to boost innovation)
- Funding of new solutions (Public or private financial support or through public-private partnerships) Relationship management (the influence of the actors that compose the city as a social group)
- Technological applications for cities (Use of information and communication technologies (ICT) for smarter solutions)
- The sociotechnical impacts of digitization (use of technology on productive and labor tasks)
- Public policies (Planning and development of public policies for an intelligent city)
- Self-regulation (Elaboration and establishment by the community itself of the rules that discipline the market with the adoption of ethical standards)
- Regulation (Set of rules developed by state agencies to guide the economy and mechanisms of social control)

Linking Smart Port and Smart City

- Landside flow of goods (including flow of consumables, waste management, processing, energy generation, distribution and construction)
- Environmental (especially air quality in port cities)
- Job Creation
- Enabling technologies (such as block-chain, IOTs)
- Others (please specify_____)

2. Some of the benefits that Singapore may be able to reap from the linkage between the Smart Port and Smart City include (i) easing of traffic congestion; (ii) improving port space utilization for cargo; (iii) reducing ship emission gas (and fine dust); (iv) improving environmental sustainability; (v) increasing the comfortability in city living; (vi) enhancing the efficiency of energy usage.

On the levels of 1 to 5, please rate the importance of the mentioned benefits for the industry that your company belongs to or industries that you have prior experience with.
Please specify industry: _____ (current) or _____ (previous)

Less traffic congestion



Reason for ratings _____

_____

Less port congestion



Reason for ratings _____

Less ship emissions



Reason for ratings _____

Higher environmental sustainability



Reason for ratings _____

Higher city living standards



Reason for ratings _____

Higher energy efficiency



Reason for ratings _____

In addition, are there any other benefits (apart from those listed above) that you think the linkage will help to translate into advantages for industries in Singapore?

_____

3. What would be challenges that Singapore may face in establishing the linkage between Smart Port and Smart City in Singapore? And, what are the possible suggestions that could help Singapore overcome those challenges?

_____

4. Finally, could we have some information from you please?

Name of respondent: _____

Designation: _____

Company: _____

These information will not be released to external parties

〈설문지 2〉 스마트항만도시 선호도 조사

ID

스마트항만도시 선호도에 대한 국민의견 조사

안녕하십니까?

본 설문조사는 **스마트항만도시 이미지 및 기능 설정**에 대한 귀하 가구의 의견을 알고자 한국해양수산개발원이 수행하는 것입니다. 각 질문에 대해 **옳거나 그른 답이 있는 것은 아니므로**, 귀하 가구의 의견을 신중하고 편하게 말씀해 주시면 됩니다. 만약 이해가 되지 않는 부분이 있다면 주저하지 마시고 면접원에게 질문하여 주십시오.

귀하의 고견은 우리나라의 스마트항만도시 관리 및 운영 정책에 중요한 자료로 활용될 것입니다. 본 조사에서 밝혀주신 귀하의 의견은 통계법 제8조와 제9조에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며 통계적 분석을 위해서만 사용될 것입니다. 귀하의 고견이 정책 수립에 반영될 수 있도록 진지하고 성실한 답변을 부탁드립니다.

감사드립니다.

KMI 한국해양수산개발원 KOREA MARITIME INSTITUTE

2020년 9월
한국해양수산개발원

▶ 면접조사자 유의사항 ◀

※ 본 설문조사는 **만 20세 이상 65세 이하**의 **세대주 또는 세대주의 배우자**만을 대상으로 하오니 해당되지 않으신 분은 설문을 하지 말아주십시오.

- 응답자에게 모든 응답 내용의 비밀이 보장될 것이며, 응답자의 이름이 응답내용과 연결되는 일이 절대 없을 것임을 확신시켜 주십시오.
- 면접조사가 시작된 시간을 반드시 기입해 주십시오.
- 응답거부, 모름, 무응답 등의 응답이 모든 질문에 대해 허용되지만, 이러한 선택지에 대해 미리 피면접자에게 읽어 주지는 마십시오.
- 설문지 맨 뒤에 있는 면접조사자에 의한 평가 부분을 기입해 주십시오.

▣ 지 역: 1. 부산 2. 인천 3. 광양 4. 울산 5. 평택당진
▣ 성 별: 1. 남성 2. 여성 ▣ 연 령: (만 세)

▣ 세대주 여부: 1. 세대주 2. 세대주의 배우자

Part A. 스마트항만도시 이미지에 관한 의견 조사

※ 면접원은 다음의 내용을 주지시켜 주십시오.

항만은 항만도시의 경제발전을 주도하고 일자리를 창출하는 등의 긍정적인 측면도 있지만, 선박에서 배출되는 미세먼지의 도시영향, 도심 내 컨테이너트럭 운송 등으로 인한 사고 위험 등 부정적 이미지도 존재한다. 이로 인하여 과거에는 항만아 노후화되면 친수공간으로 재개발되었다.*[보기카드 A-1(기존항만) 제시]*

최근 4차 산업혁명 시대 도래로 항만뿐만 아니라 도시에 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI), 로봇 등의 기술이 접목되어, 항만이미지가 깨끗하고 똑똑한 항만으로 변모되고 있다.*[보기카드 A-2(스마트항만), A-3(스마트항만도시) 제시]* .

A1. 이 설문을 받기 전에 스마트 항만도시에 대해 들어본 경험이 있습니까? ①있다 ②없다

A2. *[보기카드 A-1 제시]* 현재 본인이 거주하고 있는 항만을 고려할 때 향후 항만도시의 개발 방향으로 적당한 것은 무엇이라고 생각하십니까?

① 현 항만 형태 유지 ② 항만과 도시 분리(녹지공간) ③ 항만과 도시 연계 강화 ④ 항만 기능 폐쇄(전면 친수공간으로 재개발)

A3. *[보기카드 A-2, A-3 제시]* 현재 항만이 4차 산업혁명 기술이 접목된 새로운 이미지로 탈바꿈이 가능하다면, 해당 항만도시에 거주할 생각이 있으십니까?

① 있다 ② 없다

A4. *[보기카드 A-2, A-3 제시]* 현재 본인이 거주하고 있는 항만이 스마트항만으로 변경된다면, 향후 항만도시 개발 방향으로 적당한 것은 무엇이라고 생각하십니까?

① 현 항만 형태 유지 ② 항만과 도시 분리(녹지공간) ③ 항만과 도시 연계 강화 ④ 항만 기능 폐쇄(전면 친수공간으로 재개발)

A5. 귀하께서는 항만도시의 가장 중요한 요소가 무엇이라고 생각하십니까? 각 항목별 중요도 점수를 부여하여 주십시오.

역 할(대분류)	① 매우 안 중요	② 약간 안 중요	③ 보통	④ 약간 중요	⑤ 매우 중요
① 안전하고 인간중심의 항만도시(Secure and humanity portcity) : 항만도시민이 항만과 함께 발전하고 안전하게 생활하는 공간					
② 쾌적하고 지속가능한 항만도시(Amenity portcity) : 깨끗한 환경이 보장되고 친환경 에너지 공급이 원활한 공간					
③ 초연결·자율화된 항만도시(Fully connected & autonomous portcity) : 최첨단 기술이 접목되고, 나에게 필요한 정보가 실시간으로 제공되는 공간					
④ 효율적인 항만도시(Efficient port city) : 항만으로 인하여 도시경제가 발전하고, 교통흐름이 원활한 공간					

A6. 귀하께서는 항만도시의 가장 중요한 요소가 무엇이라고 생각하십니까? 각 항목별 중요도 점수를 부여하여 주십시오.

기능(소분류)	① 매우 안 중요	② 약간 안 중요	③ 보통	④ 약간 중요	⑤ 매우 중요
① 디지털 혁신기술 교육 클러스터 : 디지털 연구개발 역량을 육성할 뿐만 아니라 항만도시에 관련 질적 직업훈련 기관					
② 항만트럭과 일반자동차의 이동 도로 분리 : 항만도시 설계 단계에서 항만과 도시의 이동 동선 최적화 등을 통한 안전사고 제로화					
③ 스마트그리드 기반 신재생에너지 공급 체계 : 항만과 도시 모두의 에너지 효율뿐만 아니라 환경을 고려한 에너지 공급 체계 구축					
④ 항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간 : 항만과 도시가 상생 발전할 수 있도록 하는 녹지공간 및 주민편의시설 제공					
⑤ 항만배출 미세먼지 감축·관리 시스템 : 항만에서 배출되는 미세먼지를 Zero화시키기 위한 친환경 시스템 구축					
⑥ 무인 선박· 무인차량·무인항공기 운송 공간 : AI기반의 자율운항선박, 자율주행차량, 드론이 항만과 도시를 운행하는 도시					
⑦ AI기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축 : 물류 운송 시 다양한 교통수단과의 최적 연계로 단시간 택배 배송 가능					
⑧ 5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축 : 스마트항만도시의 빅데이터 정보 수집, 분석, 관리 효율 위한 초고속 통신망 구축					
⑨ 항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리 : 물류비용 절감, 항만생산성 향상 위한 유휴 트럭, 컨테이너, 장비 등의 공유 및 화물추적관리					
⑩ 항만-도시간 통합 교통 흐름 관제 시스템 : 항만-도시간 정체 없는 물류 운송 및 도로파손 복구 시스템					
⑪ 스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축 : 미래 스마트항만과 스마트도시의 공동 성장을 도모하기 위한 일관화된 관리 조직					

Part B. 스마트항만도시 선호도 조사

※ 면접원은 다음의 내용을 주지시켜 주십시오.

본 조사에서는 귀하의 가구가 판단하시는 스마트 항만도시 이미지에 대한 선호도를 조사하고자 합니다.

본인이 선택하는 설계 요소에 따라 현재 거주하고 있는 항만도시가 새로운 모습의 항만도시로 변경된다고 가정하고, 본인이 선호하거나 미래 세대(자녀) 들에게 제공하고 싶은 항만도시 설계 요소 등을 카드를 보시고 선정하여 주시면 감사하겠습니다.

〈표〉 설문 속성 및 수준

대분류	중분류	정의
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	디지털 혁신기술 교육 클러스터	디지털 연구개발 역량을 육성할 뿐만 아니라 항만도시에 관련 질적 직업훈련 기관
	항만트럭과 일반자동차의 이동 도로 분리	항만도시 설계 단계에서 항만과 도시의 이동 동선 최적화 등을 통한 안전사고 제로화
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	스마트그리드 기반 신재생에너지 공급 체계	항만과 도시 모두의 에너지 효율뿐만 아니라 환경을 고려한 에너지 공급 체계 구축
	항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간	항만과 도시가 상생 발전할 수 있도록 하는 녹지공간 및 주민편의시설 제공
	항만배출 미세먼지 감축·관리 시스템	항만에서 배출되는 미세먼지를 Zero화시키기 위한 친환경 시스템 구축
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	무인 선박·무인차량·무인항공기 운송 공간	AI기반의 자율운항선박, 자율주행차량, 드론이 항만과 도시를 운행하는 도시
	AI기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축	물류 운송 시 다양한 교통수단과의 최적 연계로 단시간 택배 배송 가능
	5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축	스마트항만도시의 빅데이터 정보 수집, 분석, 관리를 효율적으로 하기 위한 초고속 통신망 구축
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리	물류비용 절감, 항만생산성 향상시키기 위해 유휴 트럭, 컨테이너, 장비 등의 공유 및 화물추적관리
	항만-도시간 통합 교통 흐름 관제 시스템	항만-도시간 정체 없는 물류 운송 및 도로파손 복구 시스템
	스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축	미래 스마트항만과 스마트도시의 공동 성장을 도모하기 위한 일관화된 관리 조직

B1. 「스마트 항만도시」 대분류 내 스마트 항만도시 컨셉에 대한 상대적 선호도 평가

(A)	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같다		약간 중요		중요		매우 중요		극히 중요	(B)
	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	1	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1) 안전하고 인간중심의 항만도시																		2) 쾌적하고 지속가능한 항만도시
1) 안전하고 인간중심의 항만도시																		3) 초연결·자율화된 항만도시
1) 안전하고 인간중심의 항만도시																		4) 효율적인 항만도시
2) 쾌적하고 지속가능한 항만도시																		3) 초연결·자율화된 항만도시
2) 쾌적하고 지속가능한 항만도시																		4) 효율적인 항만도시
3) 초연결·자율화된 항만도시																		4) 효율적인 항만도시

B2. 「안전하고 인간 중심의 항만도시」 내 스마트 항만도시 기능에 대한 상대적 선호도 평가

(A)	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같다		약간 중요		중요		매우 중요		극히 중요	(B)
	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	1	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1) 디지털 혁신기술 교육 클러스터																		2) 항만트럭과 일반자동차의 이동도로 분리

B3. 「쾌적하고 지속가능한 항만도시」 내 스마트 항만도시 기능에 대한 상대적 선호도 평가

(A)	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같다		약간 중요		중요		매우 중요		극히 중요	(B)
	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	1	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1) 스마트 그리드 기반 신재생 에너지 공급체계																		2) 항만-도시간 충분한 녹지공간 및 휴식공간
1) 스마트 그리드 기반 신재생 에너지 공급체계																		3) 항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템
2) 항만-도시간 충분한 녹지공간 및 휴식공간																		3) 항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템

B4. 「초연결・자율화된 항만도시」 내 스마트 항만도시 기능에 대한 상대적 선호도 평가

(A)	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같다		약간 중요		중요		매우 중요		극히 중요	(B)
	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	1	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1) 무인 선박, 무인자량 무인항공기 운송 공간																		2) AI기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축
1) 무인 선박, 무인자량 무인항공기 운송 공간																		3) 5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축
2) 항만-도시간 충분한 녹지공간 및 휴식공간																		3) 항만배출 미세먼지 감축 및 관리시스템

B5. 「효율적인 항만도시」 내 스마트 항만도시 기능에 대한 상대적 선호도 평가

(A)	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같다		약간 중요		중요		매우 중요		극히 중요	(B)
	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	1	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
1) 항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리																		2) 항만-도시간 통합 교통 흐름 관제 시스템
1) 스마트 그리드 기반 신재생 에너지 공급체계																		3) 스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축
2) 항만-도시간 통합 교통 흐름 관제 시스템																		3) 스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축

C1. 귀하가 미래 선택하신 스마트항만도시(예. 보기카드 A-3)에 사신다고 가정했을 때, 각 기능이 거주하는 항만도시에 있다고 상상한 후 개인적인 거주도시에 대한 **만족도를 점수로** 표시해주십시오.

기능(소분류)	① 매우 불만족	② 약간 불만족	③ 보통	④ 약간 만족	⑤ 매우 만족
① 디지털 혁신기술 교육 클러스터 : 디지털 연구개발 역량을 육성할 뿐만 아니라 항만도시에 관련 질적 직업훈련 기관					
② 항만트럭과 일반자동차의 이동 도로 분리 : 항만도시 설계 단계에서 항만과 도시의 이동 동선 최적화 등을 통한 안전사고 제로화					
③ 스마트그리드 기반 신재생에너지 공급 체계 : 항만과 도시 모두의 에너지 효율뿐만 아니라 환경을 고려한 에너지 공급 체계 구축					
④ 항만-도시 간 충분한 녹지공간 및 휴식공간 : 항만과 도시가 상생 발전할 수 있도록 하는 녹지공간 및 주민편의시설 제공					
⑤ 항만배출 미세먼지 감축·관리 시스템 : 항만에서 배출되는 미세먼지를 Zero화시키기 위한 친환경 시스템 구축					
⑥ 무인 선박· 무인차량·무인항공기 운송 공간 : AI기반의 자율운항선박, 자율주행차량, 드론이 항만과 도시를 운행하는 도시					
⑦ AI기반 도로, 철도, 공항, 해상 복합운송 연계 인프라 구축 : 물류 운송 시 다양한 교통수단과의 최적 연계로 단시간 택배 배송 가능					
⑧ 5G 네트워크 기반 초고속 통신 인프라 구축 : 스마트항만도시의 빅데이터 정보 수집, 분석, 관리 효율 위한 초고속 통신망 구축					
⑨ 항만-도시 자원 할당·공유 및 추적관리 : 물류비용 절감, 항만생산성 향상 위한 유휴 트럭, 컨테이너, 장비 등의 공유 및 화물추적관리					
⑩ 항만-도시간 통합 교통 흐름 관제 시스템 : 항만-도시간 정체 없는 물류 운송 및 도로파손 복구 시스템					
⑪ 스마트항만-스마트시티 연계를 위한 관리 조직 구축 : 미래 스마트항만과 스마트도시의 공동 성장을 도모하기 위한 일관화된 관리 조직					

D1. 미래 스마트 항만도시의 형태와 달성해야하는 수준입니다. 다음 스마트항만도시 형태와 매년 추가지불해야하는 세금에 대한 선택지 중에서 가장 선호하는 것을 하나만 골라 □란에 ✓로 체크하여 주십시오.

정부는 현재 항만도시의 만족도, 쾌적성, IT연결성, 효율성 등의 개선을 위해 스마트항만도시를 계획하고 있습니다. [보기카드]의 스마트 항만도시처럼 개선하기 위해서는 국가적으로 많은 재원이 소요됩니다. 비용중 일부는 향후 매년 연 1회 **추가적으로 부담하는 가구 소득세**를 통해 충당됩니다. 그런데 만약 국민들이 추가되는 소득세를 지불하지 않는다면 이러한 정책은 시행될 수 없습니다. 이제 귀하에게 4개의 질문카드가 제시됩니다. 각 카드는 **① 안전하고 인간중심의 항만도시 ② 쾌적하고 지속가능한 항만도시 ③ 초연결.자율화된 항만도시 ④ 친환경 효율적인 항만도시 ⑤ 정책을 시행하기 위한 귀하 가구의 소득세 추가 부담액**으로 구성되어 있습니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중하게 대답하여 주시기 바랍니다.

〈표 〉 설문 속성 및 수준

속성	수준	설명
안전하고 인간중심의 항만도시 (Secure and humanity portcity)	(만족도) 낮음	항만도시의 청년인구가 줄고 항만관련 안전사고가 지속적으로 발생
	(만족도) 중간	항만도시의 청년층 인구수는 변화가 없고 항만관련 안전사고 감소를 위해 당사자들만 노력
	(만족도) 높음	항만도시로 청년층이 유입되고 항만관련 안전사고가 제로인 도시
쾌적하고 지속가능한 항만도시 (Amenity portcity)	(쾌적성) 낮음	화석연료공급, 녹지공간 거의 없음, 항만미세먼지 배출 심각
	(쾌적성) 중간	태양열/LNG연료 일부 사용, 항만-도시간 나무가 좀 있음, 간혹 항만미세먼지 배출 심각
	(쾌적성) 높음	깨끗한 신재생에너지 공급, 항만-도시간 공원, 항만미세먼지가 도심으로 오지 않음
초연결·자율화된 항만도시 (Fully connected & autonomous portcity)	(연결성) 낮음	도로 교통체증이 심각하고, 교통수단 연계 시 대기시간 심각
	(연결성) 중간	특정 시간만 교통체증과 대기시간 발생
	(연결성) 높음	모든 교통망이 최적으로 연계되어 대기시간이 거의 없고 교통체증이 없음
효율적인 항만도시 (Efficient port city)	(효율성) 낮음	항만발전과 도시발전이 따로 가고 있는 상태
	(효율성) 중간	항만과 도시가 일부만 계획을 함께해서 항만이 이득이 도시로 일부만 흡수
	(효율성) 높음	항만과 도시가 함께 계획해서 항만도시의 경제가 매우 활성화

속성	설명	기준상태 → 개선상태				
안전하고 인간중심의 항만도시	"항만도시민이 항만과 함께 발전하고 안전하게 생활하는 공간	낮음		중간		높음
쾌적하고 지속가능한 항만도시	"깨끗한 환경이 보장되고 친환경 에너지 공급이 원활한 공간	낮음		중간		높음
초연결·자율화된 항만도시	"최첨단 기술이 집목되고, 나에게 필요한 정보가 실시간으로 제공되는 공간	낮음		중간		높음
효율적인 항만도시	"항만으로 인하여 도시경제가 발전하고, 교통흐름이 원활한 공간	낮음		중간		높음
소득세	"스마트항만도시 개선에 따른 연간 소득세 추가 부담액(원/월)	0원	5,000원	10,000원	15,000원	20,000원

(※ 조사원은 응답자가 총 4개의 질문에 모두 응답했는지를 확인한 후, 식별번호와 선택결과를 적어주십시오)

차 례	1	2	3	4
식별번호				
선택결과				

응답자 성명 : _____ 응답자 전화번호 : _____

응답자 주소: _____ 시/도 _____ 구/군 _____ 동/읍/면

조사원이름 : _____

- 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다. -

기본연구보고서 발간목록

2020년

01	해양수산업의 지역 간 연관구조 분석	장정인
02	해양수산 분야 기술 대외의존도 분석연구 - 스마트항만을 중심으로 -	전형모
03	지역 해양수산 오픈 플랫폼 구축방안 연구	최지연
04	갯벌 거버넌스 개선방안에 관한 연구	육근형
05	해양환경정책의 능동적 추진을 위한 재원체계 개선 방안 연구	박수진
06	항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구	안용성
07	해양수산분야 사회문제해결형 R&D 기반 구축 연구	좌미라
08	해양 유입 하천쓰레기 관리체계 개선방안	이윤정
09	수산식품 품질·안전관리 제도 개선방안 연구	이헌동
10	국제법 변화에 대응한 어선원 안전 및 권리 제고방안 연구	한덕훈
11	스마트 양식 클러스터 추진 방안 수립 연구	이상철
12	해양포유류 보호에 관한 수산업 대응 방안 연구	정명화
13	수산물 수급통계 개선 방안 연구	김수현
14	IMO 온실가스 규제 대응 정책방향 연구	박한선
15	퇴직전문가 활용을 통한 해운업 경쟁력 강화방안 연구	안영균
16	글로벌 선사들의 물류통합화 전략에 대한 국적선사의 대응방안	전형진
17	내항여객운송항로 정책 발전방안 연구	김태일
18	블록체인 기술기반 식품콜드체인 체계 구축 연구	조지성
19	항만자동화 도입 관련 노무 갈등 해소 방안 연구	김찬호
20	스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구	이언경
21	항만의 회복탄력성 측정 모형 구축에 관한 연구	김성기
22	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 -新해사산업의경제적파급효과분석연구(4차년도)-	박한선
23	국내 항만연계 산업의 가치사슬 및 공급사슬 연계성 강화방안 - 자동차 산업을 중심으로	신수용

2019년

01	한반도 평화 체제 수립 대비 접경수역 연구	최지현
02	수산부문 전망모형「KMI-FOSiM」구축 연구(2차년도)	이헌동
03	4차 산업혁명 시대의 스마트 어촌 구축방안 연구	박상우
04	해양수산분야 예견적 위험분석 기반구축 연구	최석우
05	재해대응 및 환경보전을 위한 연안토지 매수 이행방안 연구	윤성순
06	선박 대기오염물질 배출저감 기술의 평가·인증체계 구축 및 활용방안 연구	안용성
07	해양레저관광서비스 산업 육성방안 연구	최일선
08	주요국의 나고야의정서 이행체계 강화에 대응한 해양유전자원정책 개선 연구	박수진
09	하천·해양 수질의 연계·통합 관리 체계 연구	장원근
10	총허용어획량(TAC) 기반 수산자원관리 강화 방안 연구	이정삼
11	우리나라 수산업·어촌의 공익적 기능에 관한 연구	류정곤
12	우리나라 원양산업의 사회적 책임 실천 강화를 위한 정책연구	정명화
13	수산업 노동시장 구조 분석과 노동정책 변화에 따른 대응 연구	한광석
14	우리나라 정기선 해운정책 개선 방안 연구	김태일
15	국내외 해운금융 비교를 통한 국내 해운금융 역량강화 방안 연구	전형진
16	해상 사이버 보안체계 강화방안 연구	박한선
17	해운 기업 비즈니스 모델과 경쟁우위 분석 연구	윤희성
18	국내 항만산업이 지역경제에 미치는 영향 분석	하태영
19	동북아 공동배출규제해역 지정 필요성 및 추진방안 연구	이기열
20	수출기업의 글로벌 공급사슬협력 수준 분석과 물류정책 방안 연구 - 화주~물류기업 협력을 중심으로 -	김은수
21	신선식품 수출입 증대를 위한 우리나라 항만물류 개선 방안	신수용
22	환동해권 물류 및 지역개발 비즈니스 모델 제안과 협력방안	박한선
23	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 우리나라 新해사산업의 경쟁력 분석에 관한 연구 -	최나영환

수시연구보고서 발간목록

2020년

01	포스트 코로나 19 해양수산 분야 정책방안	박광서
02	생분해성 어구 사용 활성화 방안 연구	심성현
03	해양법 전문인력 양성 방안 연구	박영길
04	무인도서 해양주권 강화와 이용 활성화를 위한 제도 개선방안	정지호
05	지역 해양수산 재정분권 대응방향	황재희
06	데이터 3법 개정에 따른 항만·물류 데이터 활용도 제고 방안	이기열
07	양식 활어 유통 효율화 방안 연구	마창모
08	해양레저관광사업 추진을 위한 제도정비 방안	홍장원
09	해양바이오기업의 규제 정비 방안 연구	최석문
10	비상체제 시 선원의 안전을 위한 선박-항만-항공 이동경로 구축방안	이혜진

2019년

01	일본의 수산물 수입 구조 분석과 對일본 수출 전략 연구	임경희
02	선박부착생물에 대한 선제적 대응을 위한 정책방향 연구	박수진
03	수산물 위생안전을 위한 저온유통체계 구축방안 연구	장홍석
04	전국 사업체조사 마이크로데이타를 활용한 어촌지역 고용통계 (2016, 2017)	한광석

일반연구보고서 발간목록

2020년

01	지역 해양관광 경쟁력 지수 체계화 연구	최일선
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구	강무홍
03	김 중기 수급전망모형 「Gim-MFoS」 구축 연구	허수진

04	중앙 북극 공해 비규제어업방지협정 이행방안 연구	김민수
05	동해 평화관광자유구역 조성 방안 연구	윤인주
06	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅱ) - 일반 수출입 컨테이너 정보교환방식 중심 -	이언경
07	스트레스 테스트를 통한 우리나라 해운·조선 기업의 안정성 분석	박성화
08	인공지능기반 해상운임예측 연구	황수진
09	국제물류주선업 실태분석 및 경쟁력 제고 방향 연구	최나영환
10	디지털화에 따른 개별 직업의 대체 가능성 추정 연구	박희대
11	시계열 분석을 통한 해운시장 분석 및 예측 연구	고병욱
12	해양수산분야 글로벌 경제효과 분석모형(KMI-GEM) 시범 구축 연구	임병호
13	해운항만물류 인력양성사업 관리운영 제도 개선 방안 연구	이자연

2019년

01	양식수산물의 경영비 조사체계 구축에 관한 연구	백은영
02	딥러닝 기반의 건화물선 시황예측 연구	윤희성
03	해운-조선산업 관계분석 연구 - 컨테이너 신조발주량 예측 -	최건우
04	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅰ) - 디지털 공급사슬 생태계 정보통합지도 구축 중심 -	최상희
05	시민 건강증진을 위한 해안관리 방향	정지호
06	우리나라 주요 국제여객항 운영체계 개선방안 연구 : 운영, 시설, 제도를 중심으로	이경한
07	북한 서해 해양관광 활성화 방안	윤인주
08	EU의 수산물 소비 특성 및 수출 전략(프랑스, 스페인을 중심으로)	김지연
09	해양수산 위성계정 기초연구(Ⅰ)	장정인
10	우리나라 해운·물류기업의 중국 자유무역시범구 활용방안 연구	김형근
11	지역 해양수산 혁신성장체계 구축 연구	최지연
12	도미니카공화국 뱀장어 양식사업 타당성 조사	마창모
13	강원도 어촌 신활력 제고방안(2차년도) - 어촌 활성화 거버넌스 구축과 신활력 사업구상 -	박상우

기본연구 2020-20

스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구

2020년 12월 29일 인쇄
2020년 12월 31일 발행

발 행 인 | 장 영 태
발 행 처 | 한국해양수산개발원
49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)
연 락 처 | 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)
등 록 | 1984년 8월 6일 제313-1984-1호
조판·인쇄 | 효민디앤피(051-807-5100)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel : 02-394-0337
정가 15,000원