

국내 스마트 항만 도입 우선순위 도출 연구*

류원형** · 남형식***

A Study on Determining the Priority of Introducing Smart Ports in Korea

Ryu, Won-Hyeong · Nam, Hyung-Sik

Abstract

In June 2016, the term “Fourth Industrial Revolution” was first used at the World Economic Forum in Davos, Switzerland, and it gained worldwide attention. Consequently, the importance of smart ports has increased as the shipping industry has been incorporating various Fourth Industrial Revolution technologies. Currently, major countries around the world are working to achieve digital transformation in the maritime and port industry by establishing comprehensive smart ports. However, the smartification of domestic ports in South Korea is currently limited to a few areas such as Busan, Incheon, and Gwangyang, focusing on port automation. In this context, this study performed keyword analysis to identify key components of smart ports and conducted Analytic Hierarchy Process (AHP) analysis among relevant stakeholders to determine the priorities for the Introduction of smart ports in South Korea. The analysis revealed that universities prioritized automation, intelligenceization, informatization and environmentalization in that order. Research institutes prioritized informatization, intelligenceization, automation and environmentalization. Government agencies prioritized informatization, automation, intelligenceization and environmentalization, while private sector enterprises prioritized automation, intelligenceization, informatization, and environmentalization.

Key words: Keyword Analysis, Text Mining, Word Cloud, AHP Analysis, Smart Port

▷ 논문접수: 2024. 02. 05. ▷ 심사완료: 2024. 03. 25. ▷ 게재확정: 2024. 03. 29.

* 이 논문은 2021학년도 국립한국해양대학교 신진교수 정착연구지원사업 연구비의 지원을 받아 수행된 연구이고, 2023년도 해양수산 미래연구 공모전에서 우수상으로 선정되었으며, 제1저자의 2024년도 석사학위논문의 일부 내용을 정리·보완하여 작성하였음

** 국립한국해양대학교 KMI학연협동과정 석사과정, 제1저자, whryu@g.kmou.ac.kr

*** 국립한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수, 교신저자, hsnam@kmou.ac.kr

I. 서론

2016년 6월 세계경제포럼인 다보스 포럼(Davos Forum)에서 4차산업혁명이라는 용어가 처음 사용되어 전 세계적으로 이슈화되었고, 이에 따라 항만을 비롯한 해운산업도 자본 및 노동집약적인 산업에서 벗어나 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 블록체인 등 다양한 4차산업혁명 기술을 도입하면서 스마트 항만의 중요성이 증대되고 있는 추세이다. 특히, 코로나로 인해 4차산업혁명은 더욱 가속화되고 있으며, 이로 인해 제조업과 물류업 등 많은 산업들이 현재 4차산업혁명 기술을 활용하여 스마트화를 진행하고 있다.

또한, 선박의 초대형화 등에 따른 항만 혼잡도 증가 및 세계 거점항만 간 경쟁 심화로 인해 항만의 작업 효율성 향상 및 안전, 보안, 친환경 관리 시스템의 중요성이 강화되고 있으며, 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 디지털로 대표되는 4차산업혁명으로 항만산업은 기술혁신을 바탕으로 한 스마트 항만이라는 새로운 비즈니스모델에 적응해야만 하는 도전에 직면하고 있다(Chung, 2018).

현재 세계 주요국들은 해운·항만산업에서의 디지털 전환을 실현하기 위해 스마트 항만 도입에 활발한 투자와 프로젝트를 바탕으로 다양한 노력을 기울이고 있다. 네덜란드의 로테르담항만은 세계 최초로 안벽 하역 장비를 원격조정으로 반자동화하였으며, SMART PORT라는 조직을 설립하여 물류, 에너지 및 산업, 항만 인프라, 도시, 지속 가능한 항만 운영 전략 등 다양한 측면에서 스마트 항만 실현을 위한 프로젝트를 수행하고 있다. 독일의 함부르크항만은 항만의 지속 가능한 성장, 항만 고객과 지역 주민의 편의 극대화, 환경 영향의 최소화를 위해 smartPORT 프로젝트를 수립하여 물류와 에너지 측면에서 스마트 항만 실현을 위해 노력하고 있다. 미국의 LA항만과 LB항만은 완전 무인 자동화 시스템을 도입하여 인건비 절감과 생산성 향상을 통한 항만 운영의 효율성을 도모하고 있으며, 1990년대부터 친환경 항만에 대한 계획을 수

립하여 지금까지 꾸준한 제도 개선과 과학기술 연구 투자 등을 진행하고 있다. 싱가포르의 차세대 항만건설 프로젝트인 TUAS 항만건설을 통해 장비의 자동화뿐만 아니라 운영정보를 실시간으로 수집 및 분석하여 의사결정을 최적화하는 등 종합적인 스마트 항만 건설을 추진하고 있으며, 이러한 스마트 프로젝트를 통합하여 관리하기 위해 전문 기관인 SNPO를 총리 직속 기관으로 설치 및 운영하고 있다.

한편, 우리나라는 GDP(국내총생산) 대비 수출입 비중이 매우 높은 대외 의존적인 경제 체제이지만, 사실상 북쪽으로는 육로가 막혀있어 육로를 통한 해외 무역이 불가능한 도서국과 같은 지리적 특성으로 인해 항만이 수출입 화물의 약 99.7%를 담당할 정도로 항만물류의 비중이 높다. 하지만, 이러한 높은 해운·항만 물류산업의 중요도에도 불구하고 현재 우리나라의 항만산업은 영세성으로 인해 매출이 불안정하고 생산성이 낮아 기술 투자의 여력이 부족하여 혁신에 많은 어려움을 겪고 있다(한국노동연구원, 2022).

또한, 자동화뿐만 아니라 지능화, 친환경화 등 스마트 항만 실현을 위해 다양한 측면에서 투자 및 개발하고 있는 세계 주요 항만과는 달리, 우리나라의 항만 스마트화는 현재 부산과 인천, 광양 등 일부 지역에 항만 자동화로 국한되어 추진하고 있는 실정이다.

따라서 스마트 항만이 항만의 경쟁우위 확보와 디지털 전환을 위해 필수적인 요소로 자리 잡고 있는 현실점에 우리나라 항만이 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해서는 스마트 항만의 여러 요소 중에서 우리나라 여건에 맞는 합리적인 우선순위를 도출하고, 도출된 우선순위를 바탕으로 관련 법·제도를 검토하여 스마트 항만 도입을 위한 법적인 근거를 선행적으로 마련해야 한다. 그 후, 우선순위가 높은 요소부터 집중적인 투자 및 개발과 프로젝트 수행을 통해 차례대로 도입하여, 최종적으로 모든 요소가 균형 있게 발전된 종합적인 스마트 항만 구축이 필요하다.

이에 본 연구에서는 먼저 선행연구들을 검토하여 스마트 항만에 대한 다양한 정의를 살펴보고, 스마

트 항만의 주요 항목들을 도출하기 위해 국내 스마트 항만 관련 논문과 언론사의 뉴스 자료를 수집하여 키워드 분석을 수행하고자 한다. 또한, 키워드 분석을 통해 도출된 스마트 항만의 주요 항목들을 바탕으로 전문가를 대상으로 한 AHP 분석을 수행하여 국내 스마트 항만 도입의 우선순위를 도출하고자 한다.

본 연구는 총 5절로 구성되어 있다. I 절은 서론으로 연구의 배경 및 목적과 연구의 방법 및 구성에 대하여 설명하였다. II 절은 선행연구로 스마트 항만 관련 선행연구와 스마트 항만 도입 우선순위 관련 선행연구들을 검토하였다. III 절은 연구설계로 키워드 분석을 수행하여 스마트 항만의 주요 항목들을 도출하고, 이를 바탕으로 설문지의 변수를 구성하고 계층적 분류를 시행하였다. IV 절은 실증분석으로 AHP 분석을 수행하여 분석 결과와 결과에 따른 시사점을 도출하였다. 마지막으로 V 절은 결론으로 연구의 결과를 종합적으로 요약 및 정리하고, 연구의 시사점과 한계점, 그리고 향후 연구 방향에 대해 기술하였다.

II. 선행연구

2.1 스마트 항만 관련 선행연구

Cha et al.(2021)은 탐색적 요인분석을 활용하여 스마트 항만에 대한 개념을 명확하게 정립하고, 이를 바탕으로 항만의 스마트화 수준을 측정할 수 있는 항만 스마트 지수(PSI; Port Smartness Index)를 제시하고자 하였다. 이를 위해 최소-최대 정규화 방법을 사용하여 지표를 정규화하였고, 가중치는 요인분석 기반의 산출식을 이용하였다. 연구 결과, 스마트 항만은 기술, 사회, 운영, 정보 등 4가지 측면에서 정의할 수 있고, 항만 스마트 지수는 스마트 항만의 개념에 따라 기술, 사회, 운영, 정보 영역으로 구분되며, 영역별 가중치를 도출하여 산출모형을 제시하였다.

Won and Cho(2020)는 스마트 항만 분야에서 정책적, 기술적으로 선도적인 역할을 하고 있는 유럽의 스마트 항만 정책 사례들을 살펴본 후, 사례를 바탕으로 의미 있는 내용을 정리하고 분석하여 시사점을 도출하고자 하였다. 유럽의 스마트 항만 정책 검토 결과, 비전의 정립과 공유, 특색을 창출할 수 있는 기반 제공, 스마트 항만의 추진에 인본주의와 관리 체계 고려, 점진적이고 섬세한 이행 계획 수립, 정부와 공공을 중심으로 한 산업계의 적극적인 참여 등을 주요 교훈으로 제시하였으며, 사람과 기계의 역할에 대한 합의가 선행되지 않으면 사회적 문제를 양산할 수 있다고 강조하였다.

Song(2021)은 앞으로 다가올 스마트 항만의 원활한 구축을 위해 현재 우리나라의 항만 시스템에 대해 살펴보고, 더욱 원활한 정책 도입과 기술 도입을 위한 방향에 대해 진단하고자 스마트 항만 추진과 관련된 탐색적 연구를 수행하였다. 연구 결과, 우리나라의 스마트 항만 추진상의 문제점으로 운영적 측면, 정책적 측면, 사회경제적 측면으로 나뉘어 각기 정보화 인력 수급의 부족, 계획수립의 모호성, 방만한 예산의 운영, 스마트 항만 이해관계자들의 추진 의지가 부족하다는 것이 주요 문제점으로 도출되었다. 이에 따라 정보화 인력의 확보, SCM 관점의 플랫폼 설계 및 연계, 수요자 중심의 프로세스 혁신, 스마트 항만물류 문화와 윤리 확립 등이 필요하다고 주장하였다.

Lee(2020)는 해외 항만이 스마트 항만을 추진하는 이유에 대한 답을 찾고자 스마트 항만의 개념을 탐색하고 유럽 항만의 스마트 항만 추진 동향에 대해 살펴본 결과, 스마트 항만의 정의로 디지털·정보화·지능형 항만이 가장 설득력이 있다고 보았고, 항만의 정보화와 자동화가 선행되어야 한다고 설명하였으며 함부르크와 마찬가지로 우리나라의 스마트 항만 도입 배경을 단순한 항만의 경쟁력 제고 수단이 아닌 지속가능성을 높이기 위한 수단으로 삼아야 한다고 주장하였다.

Chung(2018)은 스마트 항만에 있어 유럽에서 가장 앞서가고 있는 함부르크와 로테르담의 사례 검토를 통해 우리나라 스마트 항만에 적용 가능한 시사점을 제시하고자 하였다. 검토 결과, 스마트 도시와의 연계·선박 및 조선의 미래 변화 상황 이해·선진 항만 기술 분야 및 비즈니스 모델 등을 고려한 스마트 항만의 장기비전 및 추진전략 수립, 항만 관련 주체와 IT업체와의 유기적인 연계를 통한 참여와 소통, 친환경 지속가능성 항만·디지털 항만·탄소저감 항만·에너지의 효율적 이용 항만 등의 기능을 포함하는 KPI 구축, 스마트 항만의 운영을 통해 다양한 연구개발 사업의 발굴과 더불어 양질의 일자리 창출을 위한 체계적인 계획이 준비되어야 한다고 주장하였다.

Jeon and Hong(2021)은 이미 스마트 항만을 추진하고 있거나 시행할 예정인 사례들을 검토하여 현재와 미래에 발생할 수 있는 이슈에 대응이 가능하도록 우리나라 스마트 항만 구축에 필요한 정책적 제언을 하고자 하였다. 검토 결과, 우리나라 스마트 항만을 추진하는 배경 재검토 및 다양한 이해관계자들의 참여와 연구 필요, 자체적인 기술을 바탕으로 스마트 항만 운영 플랫폼 및 시스템 구축, 신속한 협의를 통한 스마트 항만 도입 지연 방지, 다양한 이슈에 대응 가능한 다목적, 다기능 항만 구축, 스마트 항만의 국제 표준화에 대응할 수 있는 정책적 대응 체계를 구축해야 한다고 주장하였다.

Lee and Lee(2019)는 세계 주요 선진항만 대비 우리나라 항만물류 분야의 수준을 파악하고자 전문가 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과, 네덜란드, 싱가포르 대비 우리나라 항만물류 분야의 4차산업혁명 기술 도입 및 스마트 항만 구축 속도가 더딘 이유로 직업전환에 대한 노동시장의 낮은 유연성, 데이터 수집 및 관련 법·제도의 정비와 플랫폼 설계 능력 등의 부족으로 조사되었다. 이에 따라 우리나라 항만물류 분야의 4차산업혁명 기술 대응 수준을 제고하지 않는다면 2030년에는 선진항만과의 자동화·디지털화 수준 격차가 더욱 심화될 것으로 전망하였다.

Lee and Kim(2022)은 스마트 항만의 경쟁력을 파악하고 효율성 평가에 필요한 항만의 특성을 파악하고자 세계 각국의 스마트 항만 구축 사례를 조사하고, 이를 포함하여 글로벌 경쟁력을 갖춘 항만들의 상대적 효율성을 분석하였다. 이를 위해 투입변수는 크레인 수와 선석길이를 사용하였고, 산출변수는 컨테이너 처리량을 사용하였고, CCR, BCC, FDH, SBM 등 4개 모형을 활용하여 개별 효율성을 분석하였으며, 엔트로피 모형을 활용하여 통합 효율성을 분석하였다. 분석 결과, 중국의 광저우항은 대부분의 DEA 모형에서 효율적인 것으로 분석되었고, 스마트 항만 중에서는 상하이항과 싱가포르항의 효율성이 상대적으로 높게 평가되었다. 또한, 규모수익측면에서 대부분의 항만들은 규모수익체감 상태에 접어든 것으로 나타났으며 스마트 항만의 특성을 반영할 수 있는 효율성 평가지표로 항만의 운영, 에너지 소비, 그리고 환경 측면에서 세부 지표들을 제안하였다.

Joo and Park(2022)은 스마트 항만이 지니는 물류적 측면이 아닌 지속 가능 성장을 도모하기 위한 스마트 항만의 친환경적 요소를 살펴보고자 친환경 요소를 도입한 해외 항만을 분석하여 국내 항만의 현실적인 적용방안에 관한 연구를 진행하였다. 분석 결과, 우리나라 항만공사는 IoT, AI, 빅데이터 등의 기술을 융합하여 주로 물동량 처리를 위한 자동화 및 화물 중심의 정보 처리에 집중되어 있는 반면에 해외의 스마트 항만은 지속 가능한 발전을 위하여 지능화 기술을 친환경과 융합하여 사용하거나 환경친화적인 정책을 적극적으로 펼치고 있는 것으로 파악되었다. 이에 따라 관련 정부, 지방자치단체, 기업 및 사회가 항만의 발전에 관심과 참여를 바탕으로 협력체계를 구축하여 기술적 보완이 이루어져야 하며 법의 제정 및 개정을 통한 행정적·재정적 지원으로 스마트 항만의 친환경 요소를 구축해야 한다고 주장하였다.

Kim(2021)은 스마트 항만의 개념 및 구성요소에 대한 고찰을 통해 국내 항만들이 다른 선진항만들과의 격차를 줄일 수 있는 항만정책의 개선방안에 관해 연

구하고자 하였다. 이를 위해 전 세계 항만들의 스마트 항만 지수를 비교하였고 그 결과, 전반적인 스마트화의 수준은 유럽의 항만들이 높은 것으로 나타났고, 국내 스마트 항만의 경우 유럽의 스마트 항만들에 비해 운영 측면의 성과는 앞서 있지만 환경, 에너지 측면의 성과는 미흡한 것으로 측정되었으며, 국내 스마트 항만정책을 살펴본 결과 정책이 여전히 환경, 에너지 측면보다 운영 측면에 치중된 것으로 파악되었다.

2.2 스마트 항만 도입 우선순위 관련 선행연구

Park et al.(2020)은 광양항이 앞으로 스마트 항만으로 발전하는데 적용할 수 있는 과제를 제시하고자 항만산업 패러다임의 변화에 따른 국내·외 우수 항만이 앞서 개발한 자동화 및 스마트 항만 서비스의 사례를 조사하였다. 이를 위해 항만공사, 선사, 터미널운영사 등의 전문가들을 대상으로 설문조사와 AHP 방법론을 이용하여 분석을 진행하였다. 총 4개의 측정 영역과 14개의 세부 측정 요인을 선정하였으며 분석 결과, 측정 영역의 경우 자동화 항만 개발 영역이 가장 높은 것으로 나타났고, 환산 가중치를 적용한 세부 측정 요인에서는 반자동화, 자동화, 완전자동화, 민간 신기술 개발 지원 및 사업화가 높은 우선순위로 나타났다.

Deng Shuo(2021)은 스마트 항만의 전략적 방안의 우선순위를 도출하고자 전문가 의견을 반영하는 계층적 분석 방법으로 AHP를 사용하였다. 이를 위해 평가 영역의 주요 항목으로 항만·선박 스마트화, 스마트 항만 물류 인프라, 항만 물류정보 생태계 구축, 스마트 물류 플랫폼 유형, 항만 자동화 R&D 등 총 다섯 가지를 선정하였다. 분석 결과, 스마트 항만 물류 인프라의 중요도가 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 항만·선박 스마트화, 항만 자동화 R&D, 스마트 물류 플랫폼 유형, 항만 물류정보 생태계 구축 순으로 나타났다. 스마트 항만 물류 인프라의 세부 항목은 항만과 항만, 항만과 선박, 항만과 육상, 개별 항만 내 터미널 등 총 네 가지로 구성하였으며 중요도는 동일

한 순서로 나타났다.

Choe(2020)는 스마트 항만의 도입 결정요인을 도출하고자 선행연구를 통해 주요 요인인 비용, 서비스, 시간, 안전·환경 등을 검토하고, 광양항 컨테이너터미널 운영자와 이용자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이를 통해 스마트 항만의 도입 결정요인과 찬성 및 반대 의견에 있어 운영자와 이용자의 조절 변수 투입에 따른 조절 효과를 분석하였다. 분석 결과, 비용, 시간, 안전·환경요인에서 운영자와 이용자의 조절 효과가 있는 것으로, 서비스 요인에서는 조절 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 운영자의 경우 스마트 항만 구축으로 비용을 절감하려고 하지만 이용자의 경우 스마트 항만에 따른 부정적인 효과가 반영되었다는 것을 의미한다.

Hong(2018)은 글로벌 항만 경쟁에 대응할 수 있는 우리나라 항만의 스마트 전략적 시사점을 제시하고자 선행연구를 바탕으로 우리나라 스마트 항만의 도입 배경, 구축 형태, 효과, 사례 등을 검토하였고, 델파이 분석, 설문조사, 구조방정식모형 등을 활용하여 스마트 항만의 도입, 형태, 효과 간 인과관계를 분석하였다. 분석 결과, 자동화 항만 형태의 발전 우선적 고려, 자동화와 지능화 모두 항만 운영 및 정책 성과에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 비용 절감 및 서비스 향상과 같은 항만 운영의 효용은 특정 변수 간 인과관계에서 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Wei and Won(2022)은 스마트 항만의 구축을 위한 신기술 도입의 중요도를 분석하고 스마트 항만의 구축사례를 결합하여 스마트 항만의 신기술 도입 전략을 제시하고자 계층분석기법을 활용하였다. 변수의 주요 요인으로 운영 효율성, 지속 가능성, 네트워크 연계성이 선정되었고, 세부 요인으로 운영 효율성의 경우 빅데이터, 인공지능 등 4가지, 지속 가능성의 경우 재생 에너지, 항만 에너지 관리 시스템 등 3가지, 네트워크 연계성의 경우 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅 등 4가지가 선정되었다. 설문은 연구자, 기술 개발

자, 항만 운영자를 대상으로 실시하였고, 설문 결과 운영 효율성의 중요도가 가장 높은 것으로 분석되었으며 다음으로 네트워크 연계성, 지속 가능성 순으로 나타났다.

Jo(2022)는 국내 최초로 광양항에 도입될 예정인 항만 자동화 테스트베드 사업에 따라 기존 컨테이너 터미널의 경쟁력 확보 및 스마트화를 위해 우선적으로 도입해야 할 스마트 기술의 방향을 제시하고자 하였다. 이를 위해 선행연구와 국내·외 사례들을 조사하고, 광양항 종사자를 대상으로 설문조사를 실시하여 스마트 기술에 대한 중요성 및 도입 효과에 대해 비교 분석하였다. 설문지의 기술은 공통기술영역 5개, 선석영역 6개, 이송영역 4개, 야드 및 게이트영역 6개로 총 21개로 구성하였고, IPA 분석 결과 스마트 통합 관제센터, IoT 기술 연계 야적플랜, IoT 등의 순으로 기술의 중요성 및 도입 효과가 높은 것으로 분석되었으며, 종합 Borich 요구도 분석 결과 이송영역의 AGV, 선석영역의 스마트 관제시스템 등이 우선순위가 높은 도입 기술로 분석되었다.

Kim and Choi(2021)는 향후 광양항의 스마트 항만 테스트베드 도입 및 운영에 도움을 주고자 선행연구 고찰 및 브레인스토밍을 통해 스마트 기술과 정부 지원·민간 노력의 2가지 항목과 각 세부 항목을 설정한 후, 관계자와 전문가를 대상으로 IPA(중요도-적합도) 분석을 수행하였다. 분석 결과, 중점 투자 영역의 경우 항만 노사 간 협력이 향후 광양항의 스마트 항만 도입에 있어 최우선으로 집중해야 할 부분으로 나타났고, 이는 무인화 및 자동화가 필수적인 스마트 항만 특성상 인력의 감축과 재배치를 위한 노사 간 협력 강화가 반드시 필요한 것으로 판단하였다. 반면에 블록체인, 드론 관련 법·제도 조정, 스마트 항만 전담 조직 운영은 우선순위가 낮은 것으로 나타났다.

Lee and Chang(2022)은 스마트 항만의 지속가능성 영역 및 지표의 우선순위를 도출하고자 운영, 환경, 사회, 지배구조 등 4가지의 상위 영역과 20개

의 하위 영역으로 구성하여 부산, 인천, 울산, 여수·광양 등 4개의 항만공사를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문 결과, 4가지의 상위 영역 중 운영의 우선순위가 가장 높은 것으로 나타났고 다음으로 환경, 사회, 지배구조 순으로 나타났다. 20개의 하위 영역의 경우 운영 효율성, 운영 계획, 에너지 관리, 오염 측정 및 관리체계, 투자, 안전, 친환경 장려 등과 같은 지표의 우선순위가 높은 것으로 나타난 반면 법·제도·정책의 준수, 예산 관리, 정보 공개와 같은 지배구조 영역과 외부참여자, 내부 직원, 지역사회와 같은 사회 영역은 상대적 중요도가 다른 영역들에 비해 낮은 것으로 분석되었다.

Kim and Kim(2021)은 부산항의 스마트 기술 우선순위 및 도입방안을 도출하고자 주요 국가들의 컨테이너터미널과 물류 기업의 스마트화 현황을 분석하였고 항만 터미널과 항만 배후단지에서 적용 가능한 스마트 기술 및 기술의 수요를 분석하였으며 수요와 공급을 매칭한 포트폴리오 분석을 수행하였다. 분석 결과, 항만 터미널과 항만 배후단지 모두에서 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 기술의 도입 우선순위가 높은 것으로 나타난 반면 3D 프린팅 기술은 도입 우선순위가 낮은 것으로 나타났다. 로봇과 드론 기술은 항만 터미널에 비해 항만 배후단지에서의 중요도 및 시급성이 높게 나타났고 이는 해당 기술이 항만 배후단지에서 이미 활발하게 적용되고 있으며 향후 기술의 확장에도 적합한 것으로 판단되었다.

2.3 선행연구와의 차별성

기존 스마트 항만 관련 선행연구를 살펴보면, 단순히 해외 주요 국가들의 스마트 항만 사례조사를 통해 스마트 항만의 전반적인 동향을 파악하고, 이를 바탕으로 국내 스마트 항만 도입을 위한 방향을 다소 포괄적으로 제시하는 것에 그치고 있다. 다음으로 스마트 항만 도입 우선순위 관련 선행연구를 살펴보면, 스

마트 항만의 자체적인 도입에 중점을 두기보다는 스마트 항만의 도입에 따른 스마트 기술 도입에 중점을 두는 연구가 많았으며, AHP 분석을 수행하기 위해 주요 항목 구성을 선행연구, 사례조사, 브레인스토밍 등을 바탕으로 선정된 한계점이 있다. 이에 따라 본 연구는 기존 선행연구와는 달리 스마트 항만과 관련된 국내 뉴스 및 논문 자료를 대상으로 키워드 분석을 수행하여 신뢰성 및 타당성을 확보한 주요 항목들을 도출하였다. 또한, 종합적인 스마트 항만 도입방안에 대한 필요성이 언급되고 있는 가운데 다양한 전문가들을 대상으로 진행한 AHP 분석 결과를 바탕으로 국내 스마트 항만의 종합적인 도입을 위한 우선순위를 도출하였다.

III. 연구설계

3.1 연구설계 개요

본 연구는 AHP 분석을 위한 설문지의 변수를 구성하기 위하여 스마트 항만과 관련된 국내 뉴스 및 논문 자료의 키워드에 제시된 비정형 데이터인 텍스트를 대상으로 키워드 분석을 수행하여 키워드 간의 구조적인 특성을 우선적으로 분석하였다. NetMiner 4.5.1¹⁾ 프로그램을 이용하여 키워드의 빈도분석(Term Frequency: TF)을 수행한 후 워드클라우드 형태로 시각화하였으며, 동시출현분석(Co-occurrence)의 결과를 바탕으로 최종적인 설문지의 변수를 선정하였다.

뉴스 및 논문의 자료 수집 기간은 2016년 6월부터 2023년 6월까지로 설정하였으며, 그 이유는 2016년 6월에 개최된 다보스 포럼에서 '4차산업혁명'이라는 용어가 처음 소개된 후 전 세계적으로 이슈화되었고, 자본·노동집약적인 산업에서 벗어나 ICT 기술이 기

존의 경제와 산업, 사회 전반에 융합되어 항만을 비롯한 해운산업에서도 스마트 항만의 중요성이 대두되었기 때문이다.

뉴스의 경우 뉴스 빅데이터 분석 시스템인 빅카인즈(BIG KINDS)에서 '항만'을 대표 키워드로 설정하고, '스마트항'과 '스마트항만'의 키워드를 포함하고 있는 모든 언론사(전국일간지, 경제일간지, 지역일간지, 방송사, 전문지)의 뉴스를 대상으로 하였다. 논문의 경우 국내에 발간된 학위논문과 학술논문을 연구 대상으로 하였으며 학술논문의 경우 한국연구재단(NRF)에 등록된 KCI 등재지 또는 등재후보지의 논문을 대상으로 하였다. 한국연구재단은 학술 활동을 지원 및 육성하는 전문 연구기관으로서 논문의 객관적인 수준을 평가할 수 있는 기준이 될 수 있다고 판단하여 학술논문의 범위를 한정하였다.

키워드 분석을 위한 최종 자료의 선정 과정은 <그림 1>과 같다. 빅카인즈에서 검색을 통해 수집한 뉴스와 RISS에서 검색을 통해 수집한 논문의 제목, 작성자, 연도, 주제어 등의 비정형 텍스트 데이터를 Microsoft Excel 프로그램을 통해 개별적으로 확인하는 과정을 거친 후 자료를 취합하였다.

자료 수집의 경우 뉴스는 빅카인즈의 상세 검색 서비스에서 '항만'으로 검색한 후 '스마트항', '스마트항만'의 키워드를 포함하고 있는 총 476건의 뉴스가 검색되었으며, 논문은 한국교육학술정보원에서 서비스하고 있는 RISS의 자료검색 서비스를 기반으로 '스마트 항만'을 검색어로 논문을 수집하여 학술논문 72편, 학위논문 91편으로 총 163편의 논문이 검색되었다. 이를 바탕으로 제목이 중복된 뉴스·논문, 주제어를 제시하지 않은 뉴스·논문, 스마트 항만과 관련이 현저하게 없는 뉴스·논문을 제외하고 요약과 본문을 확인하여 연구의 목적에 부합하는 476건의 뉴스와 학술논문 44편, 학위논문 44편으로 총 88편의 논문을 최종 분석 대상으로 선정하였다.

1) NetMiner는 2001년에 사이람에서 개발한 사회연결망 분석을 위한 소프트웨어로 관계데이터에 대한 탐색적 분석과 시각화 작업을 실행할 수 있다.

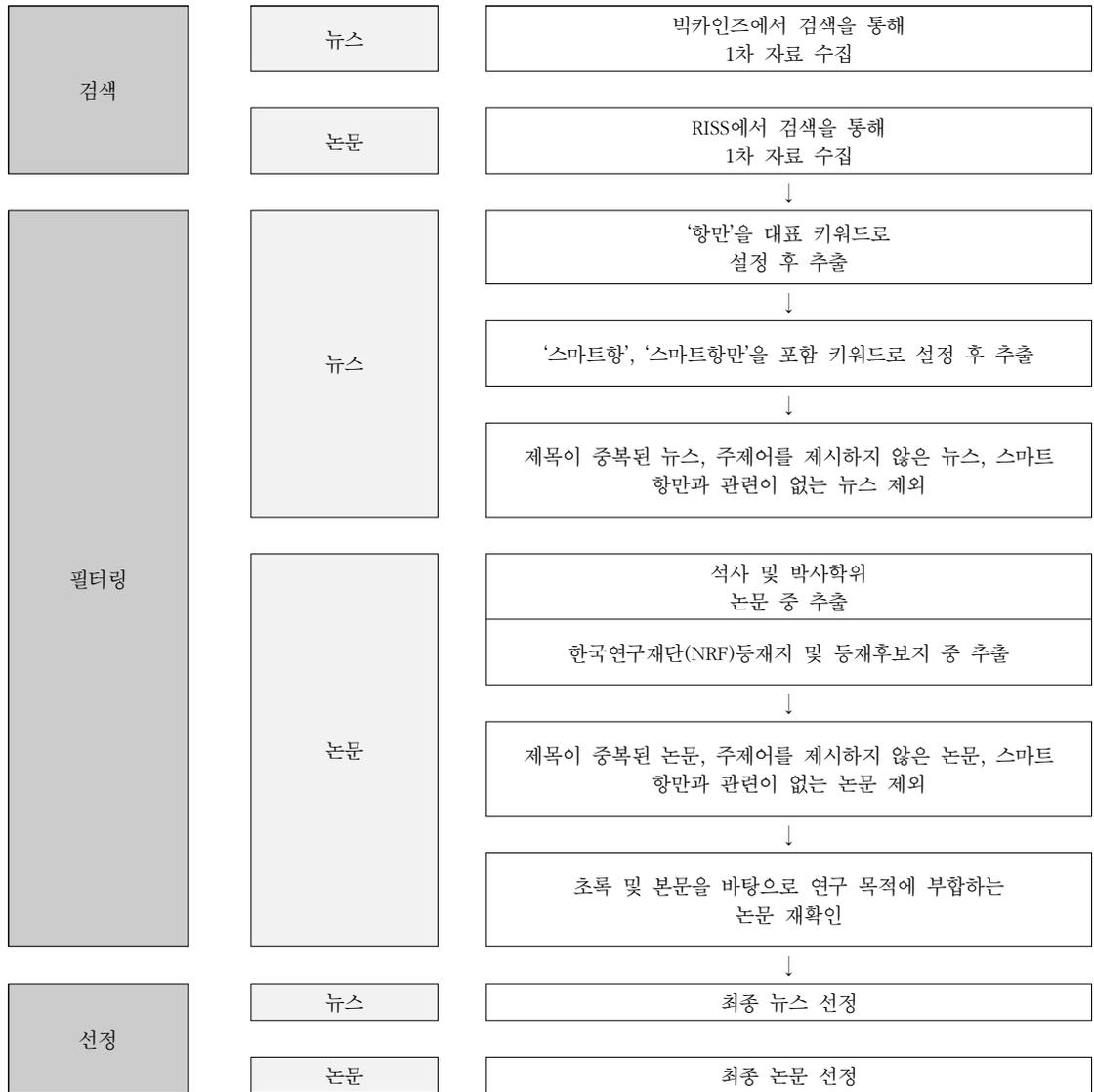


그림 1. 키워드 분석 자료 선정 절차

스마트 항만 관련 분석 대상의 연도별 뉴스, 논문, 키워드 수는 <표 1>과 같다. 뉴스의 경우 2016년 1건 이후 2017년 3건, 2018년 31건, 2019년 43건, 2020년 74건, 2021년 120건, 2022년 165건을 확인할 수 있으며 논문의 경우 2017년 2편 이후 2018년 8

편, 2019년 5편, 2020년 17편, 2021년 21편, 2022년 23편을 확인할 수 있다.

또한, 스마트 항만 관련 뉴스, 논문, 키워드 수 모두 <그림 2>와 <그림 3>과 같이 2016년을 기점으로 최근까지 뚜렷하게 증가하는 추세를 보이고 있다.

표 1. 분석 대상 연도별 뉴스, 논문, 키워드 수

구 분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년 (~6월)	합 계
뉴스수	1	3	31	43	74	120	165	39	476
키워드 수	207	761	8,627	9,060	20,110	31,069	40,449	11,578	121,861
논문 수	0	2	8	5	17	21	23	12	88
키워드 수	0	8	36	30	86	102	111	55	428

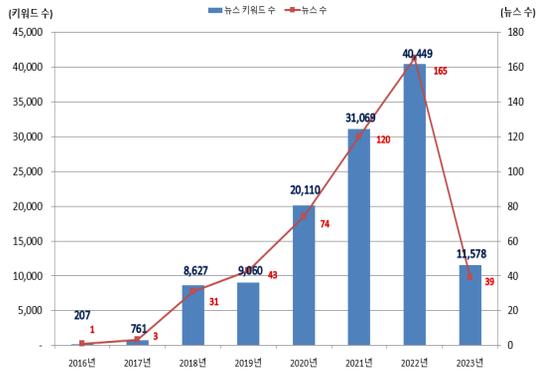


그림 2. 연도별 뉴스 및 키워드 수 추이

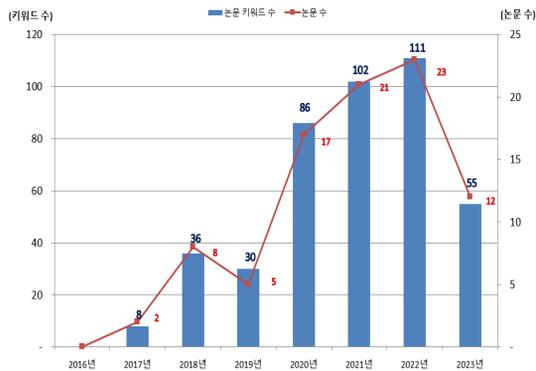


그림 3. 연도별 논문 및 키워드 수 추이

키워드 분석을 수행하기 전, 정확한 키워드의 추출이 가장 중요하기 때문에 키워드 정제 작업을 사전

에 실시하였다. 키워드 정제 작업이란 동일한 개념의 키워드가 다른 용어로 표현되거나 조사, 띄어쓰기 등의 문제로 다르게 제시됨으로써 개별사례로 분석되는 것을 차단하기 위해서 유사변수, 유사개념 등의 키워드를 통일하여 표준화하는 과정을 말한다(An et al., 2020). 추출된 자료는 조사, 특수문자, 연결어 등 분석 대상으로 의미가 없는 단어들이 그대로 나타나 있기 때문에 키워드 정제 과정을 거쳤으며 수집된 자료의 정제 예시는 <표 2>와 같다.

본 연구에서는 교정 작업과 통제 작업을 통해 키워드 정제 작업을 실시하였다. 먼저, 추출된 키워드에서 띄어쓰기, 약어 등의 교정 작업을 실시한 후, 유의어, 지정어, 제외어, 포함어 등을 통제하여 적합한 단어를 선정하였다. 예를 들어, ‘무인선박’과 ‘인공지능선박’은 사실상 같은 의미로 사용되는 단어들이기 때문에 이를 ‘자율운항선박’으로 통제하였고, ‘자동화항만’과 ‘완전자동화항만’과 같이 동일하진 않지만 의미가 유사한 단어는 대표성을 지니고 있는 ‘자동화항만’으로 통제하였으며, ‘IoT’는 ‘사물인터넷’, ‘AI’는 ‘인공지능’, ‘ESG’는 ‘지속가능발전’으로 한영 키워드 변환을 실시하였다. 이러한 키워드 정제 작업을 수행한 후, 최종적으로 뉴스의 경우 10번 미만으로 언급된 키워드는 대상에서 제외하고 총 923개의 단어 수가 키워드 분석 대상으로 선정되었으며, 논문의 경우 총 185개의 단어 수가 키워드 분석 대상으로 선정되었다.

표 2. 키워드 정제 예시

정제 기준	정제 예시
연결어·조사 삭제	· 해양클러스터의 특징 → 해양클러스터특징 · 항만발전·전략 → 항만발전전략 · 항만의 경쟁력 → 항만경쟁력
띄어쓰기 구분	· 스마트 항만 → 스마트항만 · 4차 산업혁명 → 4차산업혁명
동의어	· 무인선박, 인공지능선박 → 자율운항선박 · 지속가능성, 지속 가능한 발전 → 지속가능발전
유의어	· 자동화항만, 완전자동화항만 → 자동화항만 · 항만물류, 항만 연계물류 → 항만물류 · 탈탄소화, 탄소중립 → 탄소중립
한영 키워드 변환	· IoT → 사물인터넷 · AI → 인공지능 · ESG → 지속가능발전

3.2 스마트 항만 관련 국내 뉴스 키워드

스마트 항만 관련 국내 뉴스의 키워드를 분석하기 위해 먼저 텍스트의 주제적 특성을 파악할 수 있는 빈도분석을 수행하였다. 키워드 빈도분석 결과, 중복

되는 키워드 수와 10번 미만으로 언급된 키워드는 제외하여 최종적으로 확정된 키워드 수는 총 923개이며 이 중 빈도수 상위 40개 키워드를 나타내면 <표 3>과 같다.

표 3. 스마트 항만 관련 뉴스에 제시된 키워드

순위	키워드	빈도수	순위	키워드	빈도수
1	스마트항만	8,150	21	성과	1,110
2	자동화	2,575	22	공정	1,095
3	정보화	2,144	23	혁신	1,072
4	부산신항	1,895	24	항만시설	1,053
5	관리운영	1,710	25	방안	955
6	친환경화	1,688	26	국가정책	947
7	지능화	1,653	27	우선순위	927
8	계획	1,644	28	물류	918
9	정부	1,643	29	선박	880
10	항만장비	1,529	30	경쟁력	854
11	사업	1,511	31	지역	826
12	산업계	1,502	32	집중화	819
13	산업	1,481	33	지방자치단체	736
14	해양	1,452	34	기술	722
15	도입화	1,373	35	홍보	715
16	세계화	1,341	36	의지	698
17	부가가치	1,332	37	지원	681
18	의사소통	1,280	38	기대효과	680
19	협력	1,188	39	교육훈련	645
20	준비	1,133	40	광양	612

스마트 항만 관련 뉴스에서 제시되는 키워드 수는 총 923개이며 ‘스마트항만(8,150)’이 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘자동화(2,575)’, ‘정보화(2,144)’, ‘부산신항(1,895)’, ‘관리운영(1,710)’, ‘친환경화(1,688)’ 등의 순으로 나타났다. 스마트 항만 관련 뉴스의 키워드 빈도분석 결과를 워드 클라우드 형태로 시각화한 결과는 <그림 4>와 같다.



그림 4. 스마트 항만 관련 뉴스 워드 클라우드

워드 클라우드는 문서 내에서 단어들 이 언급된 수에 비례하여 단어의 크기를 표현한 것으로, 단어의 언급 정도를 빠르게 파악함으로써 어떤 단어가 중요한 의미를 갖는지 탐색할 수 있다. 보통 중요하거나 자주 등장한 단어는 크게 강조하고, 상대적으로 중요하지 않은 단어는 작게 표시한다. 워드 클라우드를 살펴보면 대표 키워드인 ‘스마트항만’이 가장 크게 강조된 것을 알 수 있으며, 뒤이어 빈도분석 순위에 따라 ‘자동화’, ‘정보화’, ‘부산신항’, ‘관리운영’, ‘친환경화’ 등이 강조되었다.

다음으로 스마트 항만 관련 키워드의 동시출현 빈도를 분석하기 위하여 키워드 동시출현 빈도분석을 수행하였다. 키워드 동시출현 빈도는 하나의 문서에 함께 등장하는 키워드 쌍을 분석하는 것으로 함께 등장하는 키워드의 빈도가 높을수록 연관성이 높다는 것을 의미한다. 키워드 동시출현 빈도분석을 수행하기에 앞서, 먼저 하나의 문서에 제시된 키워드들을 문서-키워드 의 2-모드 연결망(2-mode network)으로

구성한 후, 키워드-키워드 의 1-모드 연결망(1-mode network)으로 변환하는 작업을 실시하였다. 그 이유는 동시출현 행렬을 구성하기 위해서는 2-모드 연결망을 1-모드 연결망으로 변환하는 것이 필요하기 때문이다(Ding et al., 2001).

스마트 항만 관련 뉴스의 키워드-키워드 간의 동시출현 빈도분석 결과, 총 245,829개의 키워드 쌍이 나타났으며, 상위 40개를 나타내면 <표 4>와 같다. ‘도입화-스마트항만(383)’이 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘계획-스마트항만(377)’, ‘스마트항만-자동화(376)’, ‘스마트항만-지능화(369)’, ‘성과-스마트항만(362)’, ‘스마트항만-정보화(361)’ 등의 순으로 나타났다.

표 4. 스마트 항만 관련 뉴스의 키워드-키워드 간 동시출현 빈도 1

순위	키워드	빈도수
1	도입화-스마트항만	383
2	계획-스마트항만	377
3	스마트항만-자동화	376
4	스마트항만-지능화	369
5	성과-스마트항만	362
6	스마트항만-정보화	361
7	관리운영-스마트항만	351
8	세계화-스마트항만	349
9	부가가치-스마트항만	347
10	산업계-스마트항만	345
11	스마트항만-친환경화	345
12	사업-스마트항만	338
13	방안-스마트항만	336
14	스마트항만-준비	336
15	산업-스마트항만	333
16	스마트항만-혁신	333
17	스마트항만-우선순위	325
18	스마트항만-정부	321
19	계획-도입화	318
20	계획-자동화	317
21	도입화-자동화	317
22	공정-스마트항만	316
23	스마트항만-집중화	313
24	경쟁력-스마트항만	306
25	도입화-지능화	305

26	정보화	지능화	305
27	스마트항만	협력	304
28	도입화	성과	302
29	스마트항만	의지	301
30	자동화	정보화	301
31	관리운영	자동화	297
32	자동화	지능화	297
33	계획	성과	294
34	계획	정보화	294
35	도입화	정보화	294
36	스마트항만	의사소통	294
37	부가가치	자동화	292
38	성과	지능화	292
39	계획	지능화	291
40	성과	자동화	291

다음으로 대표 키워드인 ‘스마트항만’의 동시출현 빈도분석 상위 40개를 나타내면 <표 5>와 같다. ‘스마트항만-자동화(376)’가 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘스마트항만-지능화(369)’, ‘스마트항만-정보화(361)’, ‘스마트항만-친환경화(345)’, ‘스마트항만-준비(336)’, ‘스마트항만-혁신(333)’ 등의 순으로 나타났다.

표 5. 스마트 항만 관련 뉴스의 키워드-키워드 간 동시출현 빈도 2

순위	키워드		빈도수
1	스마트항만	자동화	376
2	스마트항만	지능화	369
3	스마트항만	정보화	361
4	스마트항만	친환경화	345
5	스마트항만	준비	336
6	스마트항만	혁신	333
7	스마트항만	우선순위	325
8	스마트항만	정부	321
9	스마트항만	집중화	313
10	스마트항만	협력	304
11	스마트항만	의지	301
12	스마트항만	의사소통	294
13	스마트항만	체계	264

14	스마트항만	항만장비	255
15	스마트항만	지원	252
16	스마트항만	해양	236
17	스마트항만	현황	236
18	스마트항만	항만시설	226
19	스마트항만	지방자치단체	218
20	스마트항만	홍보	218
21	스마트항만	지역	210
22	스마트항만	활용	202
23	스마트항만	안전	201
24	스마트항만	타당성	201
25	스마트항만	운송수단	197
26	스마트항만	확대	196
27	스마트항만	지속가능경영	194
28	스마트항만	시장	193
29	스마트항만	예정	178
30	스마트항만	한국	178
31	스마트항만	정의	168
32	스마트항만	전략	163
33	스마트항만	운송	160
34	스마트항만	연구개발	156
35	스마트항만	확보	151
36	스마트항만	역할	147
37	스마트항만	인프라	147
38	스마트항만	제공	144
39	스마트항만	투자	142
40	스마트항만	여론	141

3.3 스마트 항만 관련 국내 논문 키워드

스마트 항만 관련 국내 논문의 키워드를 바탕으로 빈도분석을 수행하였다. 키워드 빈도분석 결과, 중복되는 키워드 수는 제외하여 최종적으로 확정된 키워드 수는 총 185개이며 이 중 빈도수 상위 40개 키워드를 나타내면 <표 6>과 같다.

표 6. 스마트 항만 관련 논문에 제시된 키워드

순위	키워드	빈도수
1	스마트항만	35
2	4차산업혁명	19
3	스마트물류	12
4	지능화	11
5	정보화	11
6	자동화항만	9
7	유럽항만	9
8	컨테이너터미널	8
9	친환경화	8
10	친환경항만	8
11	지속가능발전	8
12	자율운항선박	7
13	스마트기술	7
14	사물인터넷	7
15	광양항	7
16	항만경쟁력	6
17	중국항만	6
18	선박사이버보안	6
19	계층화분석	6
20	빅데이터	5
21	디지털항만	5
22	항만스마트지수	4
23	항만	4
24	사이버보안	4
25	네트워크분석	4
26	해양클러스터	3
27	항만보안	3
28	퍼지계층화분석	3
29	중요도실행도분석	3
30	자동화항만장비	3
31	자동화컨테이너터미널	3
32	자동화	3
33	인공지능	3
34	우선순위	3
35	스왑분석	3
36	스마트항로표지	3
37	선석계획	3
38	사례분석	3
39	공급사슬망관리	3
40	효율성	2

스마트 항만 관련 논문에서 제시되는 키워드 수는 총 185개이며 ‘스마트항만(35)’이 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘4차산업혁명(19)’, ‘스마트물류(12)’, ‘지능화(11)’, ‘정보화(11)’, ‘자동화항만(9)’ 등의 순으로 나타났다. 스마트 항만 관련 논문의 키워드 빈도분석 결과를 워드 클라우드 형태로 시각화한 결과는 <그림 5>와 같다.



그림 5. 스마트 항만 관련 논문 워드 클라우드

워드 클라우드를 살펴보면 대표 키워드인 ‘스마트항만’이 가장 크게 강조된 것을 알 수 있으며, 뒤이어 빈도분석 순위에 따라 ‘4차산업혁명’, ‘스마트물류’, ‘지능화’, ‘정보화’, ‘자동화항만’ 등이 강조되었다. 다음으로 스마트 항만 관련 키워드의 동시출현 빈도를 분석하기 위하여 키워드 동시출현 빈도분석을 수행하였다. 스마트 항만 관련 논문의 키워드-키워드 간의 동시출현 빈도분석 결과, 총 667개의 키워드 쌍이 나타났으며, 상위 40개를 나타내면 <표 7>과 같다. ‘4차산업혁명-스마트항만(8)’이 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘스마트항만-자동화항만(6)’, ‘광양항-스마트항만(5)’, ‘스마트항만-친환경항만(5)’, ‘4차산업혁명-광양항(4)’, ‘디지털항만-스마트항만(4)’ 등의 순으로 나타났다.

표 7. 스마트 향만 관련 논문의 키워드-키워드 간
동시출현 빈도 1

순위	키워드		빈도수
1	4차산업혁명	스마트향만	8
2	스마트향만	자동화향만	6
3	광양향	스마트향만	5
4	스마트향만	친환경향만	5
5	4차산업혁명	광양향	4
6	디지털향만	스마트향만	4
7	스마트향만	유럽향만	4
8	4차산업혁명	스마트기술	3
9	4차산업혁명	스마트물류	3
10	4차산업혁명	자동화향만	3
11	4차산업혁명	정보화	3
12	4차산업혁명	컨테이너터미널	3
13	사례분석	스마트향만	3
14	스마트기술	스마트물류	3
15	스마트향만	자율운항선박	3
16	스마트향만	정보화	3
17	스마트향만	컨테이너터미널	3
18	4차산업혁명	디지털향만	2
19	4차산업혁명	빅데이터	2
20	4차산업혁명	사물인터넷	2
21	4차산업혁명	스마트팩토리	2
22	공급사슬망관리	스마트물류	2
23	광양향	자동화	2
24	광양향	자동화향만	2
25	광양향	중요도실행도분석	2
26	광양향	컨테이너터미널	2
27	네트워크분석	지속가능발전	2
28	네트워크분석	컨테이너터미널	2
29	디지털향만	유럽향만	2
30	부산신항	선석계획	2
31	부산신항	예선	2
32	부산신항	지능화	2
33	부산신항	컨테이너선박	2
34	사례분석	유럽향만	2
35	사물인터넷	스마트기술	2
36	사물인터넷	스마트물류	2
37	사이버보안	스마트향만	2
38	선석계획	예선	2
39	선석계획	지능화	2
40	선석계획	컨테이너선박	2

다음으로 대표 키워드인 ‘스마트향만’의 동시출현 빈도분석 상위 40개를 나타내면 <표 8>과 같다. ‘스마트향만-자동화향만(6)’이 가장 높은 빈도를 나타내는 것으로 나타났고, ‘스마트향만-친환경향만(5)’, ‘스마트향만-유럽향만(4)’, ‘스마트향만-자율운항선박(3)’, ‘스마트향만-정보화(3)’, ‘스마트향만-컨테이너터미널(3)’ 등의 순으로 나타났다.

표 8. 스마트 향만 관련 논문의 키워드-키워드 간
동시출현 빈도 2

순위	키워드		빈도수
1	스마트향만	자동화향만	6
2	스마트향만	친환경향만	5
3	스마트향만	유럽향만	4
4	스마트향만	자율운항선박	3
5	스마트향만	정보화	3
6	스마트향만	컨테이너터미널	3
7	스마트향만	자동화	2
8	스마트향만	중요도실행도분석	2
9	스마트향만	지능화	2
10	스마트향만	지속가능발전	2
11	스마트향만	지속가능성평가	2
12	스마트향만	향만경쟁력	2
13	스마트향만	스왑분석	1
14	스마트향만	신기술도입전략	1
15	스마트향만	신기술중요도	1
16	스마트향만	엔트로피모형	1
17	스마트향만	우선순위	1
18	스마트향만	위임입법	1
19	스마트향만	육상보고	1
20	스마트향만	인천시향만	1
21	스마트향만	자동계류	1
22	스마트향만	자동화컨테이너터미널	1
23	스마트향만	자료포락분석	1
24	스마트향만	전자문서	1
25	스마트향만	전자반출시스템	1
26	스마트향만	전자코드	1
27	스마트향만	제주시담동재생	1

28	스마트항만	제주항제개발	1
29	스마트항만	조절효과	1
30	스마트항만	중국항만	1
31	스마트항만	지리정보시스템	1
32	스마트항만	추진전략	1
33	스마트항만	친환경화	1
34	스마트항만	퍼지계층화분석	1
35	스마트항만	평가지표	1
36	스마트항만	평택항	1
37	스마트항만	표준화	1
38	스마트항만	항만	1
39	스마트항만	항만공사	1
40	스마트항만	항만공사법	1

표 9. 스마트 항만 관련 뉴스 및 논문의 동시출현 키워드 비교

순위	스마트 항만 관련 키워드	
	뉴스	논문
1	자동화	자동화항만
2	지능화	친환경항만
3	정보화	유럽항만
4	친환경화	자율운항선박
5	준비	정보화
6	혁신	컨테이너터미널
7	우선순위	자동화
8	정부	중요도실행도분석
9	집중화	지능화
10	협력	지속가능발전

3.4 설문지 변수 구성 및 계층적 분류

본 연구는 국내 스마트 항만 도입 우선순위 도출을 목적으로 가장 적합한 계층적 구조를 설계하기 위하여 먼저 1단계로 스마트 항만 관련 뉴스 및 논문의 키워드 분석을 수행하였다. 그 결과, 뉴스의 경우 스마트 항만과 동시에 출현한 상위 키워드에 ‘자동화(1순위)’, ‘지능화(2순위)’, ‘정보화(3순위)’, ‘친환경화(4순위)’, ‘준비(5순위)’, ‘혁신(6순위)’, ‘우선순위(7순위)’, ‘정부(8순위)’, ‘집중화(9순위)’, ‘협력(10순위)’ 등이 도출되었고, 논문의 경우 ‘자동화항만(1순위)’, ‘친환경항만(2순위)’, ‘유럽항만(3순위)’, ‘자율운항선박(4순위)’, ‘정보화(5순위)’, ‘컨테이너터미널(6순위)’, ‘자동화(7순위)’, ‘중요도실행도분석(8순위)’, ‘지능화(9순위)’, ‘지속가능발전(10순위)’ 등이 도출되었으며 이러한 스마트 항만 관련 뉴스와 논문에 제시된 키워드의 동시출현 빈도분석 결과를 비교한 표는 <표 9>와 같다.

뉴스와 논문에 중복되어 제시된 키워드를 살펴보면 ‘자동화’, ‘지능화’, ‘정보화’, ‘친환경화’의 네 가지 키워드가 동시에 부문별로 높은 순위에 위치하는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 키워드 분석 결과를 바탕으로 국내 스마트 항만 도입을 위한 주요 항목의 요인으로 ‘자동화’, ‘지능화’, ‘정보화’, ‘친환경화’를 선정하였다. 다음은 세부 항목 구성을 위한 2단계로 II절에서 선행연구 고찰을 통해 세부 항목을 도출하였으며, 관련 학계 및 업계 전문가와의 자문과 인터뷰를 통해 중복성과 편중성을 고려하여 최종 항목을 도출하고 계층화를 진행하였다.

그 결과, 최종적으로 4개의 주요 항목과 12개의 세부 항목으로 변수를 구성하였다. 주요 항목으로는 ‘자동화’, ‘지능화’, ‘정보화’, ‘친환경화’의 4개 요인으로 구성하였다. 자동화의 세부 항목은 ‘안벽 무인 및 자동화’, ‘야드 무인 및 자동화’, ‘게이트 무인 및 자동화’의 3개 요인으로 구성하였고, 지능화의 세부 항목은 ‘디지털 트윈 도입’, ‘사고방지 및 안전성 강화’, ‘의사결정 시스템 고도화’의 3개 요인으로 구성하였다. 정보화의 세부 항목은 ‘통합 운영시스템 개발’, ‘사이버 보안시스템 고도화’, ‘장비/기기 간 상호연계’

의 3개 요인으로 구성하였고, 친환경화의 세부 항목은 '친환경 에너지 체제 전환', '오염측정 관리체계 구

축', '에너지 효율성 증대'의 3개 요인으로 구성하였다.

표 10. 국내 스마트 항만 계층화 구조의 주요 항목 및 세부 항목

목표	주요 항목	세부 항목	주요 내용
국내 스마트 항만 도입	자동화	· 안벽 무인 및 자동화	· 안벽에서 선적 및 양하 작업의 무인·자동화
		· 야드 무인 및 자동화	· 컨테이너 야드 내 이송 장비의 무인·자동화
		· 게이트 무인 및 자동화	· 컨테이너터미널 출입 게이트의 출입 무인·자동화
	지능화	· 디지털 트윈 도입	· 컨테이너터미널 디지털 트윈 기술 개발 및 도입
		· 사고방지 및 안전성 강화	· 화물 이동 상황 예측을 통한 사고방지 및 안전성 강화
		· 의사결정 시스템 고도화	· 인공지능 기반 의사결정 시스템 자율화 및 고도화
	정보화	· 통합 운영시스템 개발	· 항만별 전체 터미널 통합 운영시스템 개발 및 상용화
		· 사이버 보안시스템 고도화	· 항만 사이버 보안시스템 고도화를 통한 정보 보호 강화
		· 장비/기기 간 상호연계	· 항만 내 장비/기기 간 상호연계를 통한 실시간 정보공유
	친환경화	· 친환경 에너지 체제 전환	· 탄소 감축을 위한 친환경 에너지 체제로의 전환
		· 오염 측정 관리체계 구축	· 오염 측정 관리체계 구축을 통한 항만 내 오염 방지 관리
		· 에너지 효율성 증대	· 효율적인 에너지 사용을 통한 항만 에너지 효율성 증대

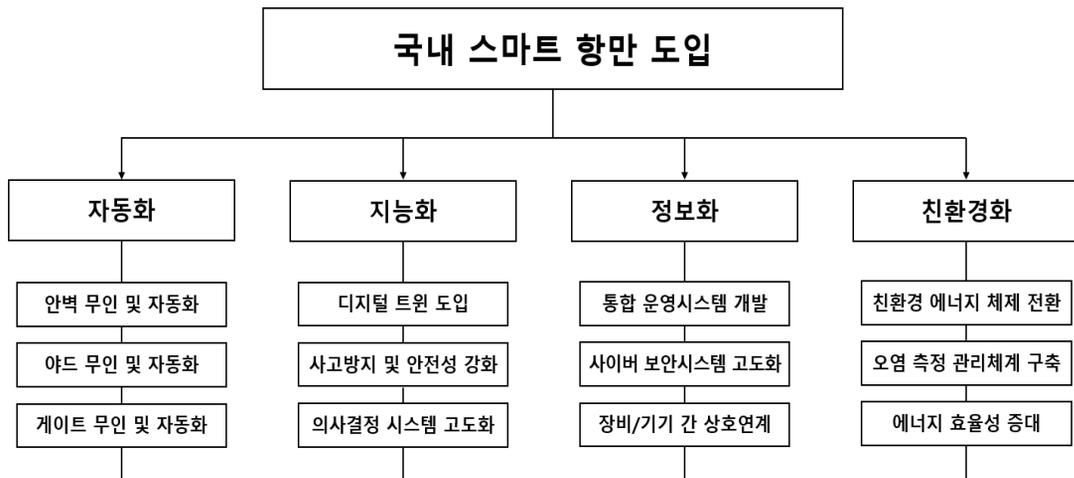


그림 6. 국내 스마트 항만 도입 우선순위 선정 계층도

IV. 실증분석

4.1 분석 개요

본 연구의 설문은 AHP 분석을 위해 리커트 5점 척도법에 따라 구성하였다. 설문의 개요는 <표 11>과 같으며 응답자 특성 질문 4문항을 포함하여 총 22문항으로 구성하였다. 주요 항목 및 세부 항목에

대한 질문은 모두 쌍대 비교하는 등간 척도로 작성하였고, 응답자 특성에 대한 질문은 각 응답자의 직급, 근무연수, 현재 근무 업종, 연령을 선택하는 명목 척도로 작성하였다. 계층별로는 주요 항목 6문항을 포함하여 자동화 세부 항목 3문항, 지능화 세부 항목 3문항, 정보화 세부 항목 3문항, 친환경화 세부 항목 3문항으로 구성하였다.

표 11. 설문지 개요

구분		내용	척도	문항 수
주요 항목 질문		· 자동화 · 지능화 · 정보화 · 친환경화	등간 척도 (쌍대 비교)	6
세부 항목 질문	자동화	· 안벽 무인 및 자동화 · 야드 무인 및 자동화 · 게이트 무인 및 자동화		3
	지능화	· 디지털 트윈 도입 · 사고방지 및 안전성 강화 · 의사결정 시스템 고도화		3
	정보화	· 통합 운영시스템 개발 · 사이버 보안시스템 고도화 · 장비/기기 간 상호연계		3
	친환경화	· 친환경 에너지 체제 전환 · 오염 측정 관리체계 구축 · 에너지 효율성 증대		3
응답자 특성 질문		· 직급 · 근무연수 · 현재 근무 업종 · 연령	명목 척도	4
합 계				22

설문 대상은 국내 스마트 항만 도입에 따른 이해관계자로 판단되는 대학, 연구소(원), 해운·항만 관련 정부 기관, 해운·항만 관련 민간기업을 분석 대상으로 선정하였다. 항만의 스마트화에 따른 우선순위, 기술, 안전, 환경 등에 대한 이해관계자별 입장은 큰 차이가 있을 것으로 예상된다. 즉, 대학의 경우 스마트 항만 정책 수립 및 로드맵 구축, 산·학·연

공동 협의체 구성, 의사소통 채널 활성화 등을 강조할 수 있고, 연구소(원)의 경우 4차산업혁명 기술 도입, 종합적인 스마트 항만 체계 구축, 스마트 항만 관련 연구개발 활성화 등을 강조할 수 있다. 또한, 정부 기관의 경우 친환경 항만 구축, 항만경쟁력 강화, 안전사고 감소, 첨단 기술 축적 등을 강조할 수 있고, 민간기업의 경우 운영비 절감, 운영시간 최소

화, 근로자의 작업 환경 및 조건 개선 등을 강조할 수 있다. 따라서 이러한 이해관계자별 입장의 차이를 분석하기 위해 설문 대상을 대학, 연구소(원), 해수부·지자체·항만공사 등을 포함한 해운·항만 관련 정부 기관, 터미널·선사 등을 포함한 해운·항만 관련 민간기업으로 구분하였다.

설문조사는 2023년 10월 13일부터 2023년 10월 20일까지 실시하였다. 국내 스마트 항만 도입과 관련이 있는 대학, 연구소(원), 해운·항만 관련 정부 기관(해수부, 지자체, 항만공사 등), 해운·항만 관련 민간기업(터미널, 선사 등)을 대상으로 현장 방문, e-mail, SNS 메시지를 통해 설문지를 배포하였다. 총 배포된 85부의 설문지 중 70부의 설문지를 회수하여 회수율 82.35%를 기록하였으며, 이 가운데 일관성이 유효하다고 판단되는 일관성비율(CR)이 0.1 이하인 설문지 56부(80.0%)를 실증분석에 사용하였다. 설문지의 분석은 Microsoft Excel 2021 프로그램을 활용하였다.

4.2 전체 응답 분석 결과

4.2.1 설문 응답자 특성

먼저, 설문 응답자의 특성인 직급, 근무연수, 근무업종, 연령의 빈도 및 비중을 살펴보면 <표 12>와 같다.

표 12. 설문 응답자 특성 종합

직급	빈도	빈도 비중
임원급	6	10.71%
부서장급	7	12.50%
차장급	13	23.21%
과장급	10	17.86%
대리급	9	16.07%
대리급 이하	11	19.64%
합계	56	100.00%
근무연수	빈도	빈도 비중
10년 이상	26	46.43%

5 ~ 10년	11	19.64%
3 ~ 5년	6	10.71%
1 ~ 3년	7	12.50%
1년 이하	6	10.71%
합계	56	100.00%
근무 업종	빈도	빈도 비중
대학	13	23.21%
연구소(원)	12	21.43%
해운·항만 관련 정부 기관	10	17.86%
해운·항만 관련 민간기업	21	37.50%
합계	56	100.00%
연령	빈도	빈도 비중
60세 이상	0	0.00%
50 ~ 60세	9	16.07%
40 ~ 50세	20	35.71%
30 ~ 40세	16	28.57%
30세 이하	11	19.64%
합계	56	100.00%

설문 응답자의 직급별 빈도는 임원급 10.71%, 부서장급 12.50%, 차장급 23.21%, 과장급 17.86%, 대리급 16.07%, 대리급 이하 19.64%로, 차장급의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 근무연수별 빈도는 10년 이상 46.43%, 5~10년 19.64%, 3~5년 10.71%, 1~3년 12.50%, 1년 이하 10.71%로, 10년 이상의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 근무 업종별 빈도는 대학 23.21%, 연구소(원) 21.43%, 해운·항만 관련 정부 기관 17.86%, 해운·항만 관련 민간기업 37.50%로, 해운·항만 관련 민간기업의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 연령별 빈도는 60세 이상 0%, 50~60세 16.07%, 40~50세 35.71%, 30~40세 28.57%, 30세 이하 19.64%로, 40~50세의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다.

4.2.2 주요 항목의 상대적 중요도 분석

전체 응답자의 AHP 분석에 따른 국내 스마트 항만 도입 주요 항목의 상대적 중요도를 살펴보면, 자

동화(0.292), 지능화(0.252), 정보화(0.249), 친환경화(0.207) 순으로 나타났다. 이를 통해 전체 응답자들은 국내 스마트 항만 도입에 있어 자동화를 가장 중요하게 평가한다는 것을 알 수 있으며, 지능화와 정보화를 순서대로 중요하게 평가하지만, 두 항목 간 중요도의 차이는 0.003으로 매우 작은 것을 알 수 있다. 특히, 친환경화는 국내 스마트 항만 도입에 있어 상대적으로 가장 낮은 비중을 차지하였다.

표 13. 주요 항목의 상대적 중요도(전체)

우선 순위	구분	중요도	일관성 비율
1	자동화	0.292	0.002
2	지능화	0.252	
3	정보화	0.249	
4	친환경화	0.207	

4.2.3 세부 항목의 상대적 중요도 분석

자동화 세부 항목의 상대적 중요도를 살펴보면, 야드 무인 및 자동화(0.396), 안벽 무인 및 자동화(0.344), 게이트 무인 및 자동화(0.261) 순으로 나타났다. 이를 통해 전체 응답자들은 자동화에 있어 야드 무인 및 자동화를 가장 중요하게 평가하고, 안벽 무인 및 자동화는 이보다 0.052 덜 중요하게 평가하며, 게이트 무인 및 자동화의 중요도는 상대적으로 가장 낮게 평가한다는 것을 알 수 있다.

표 14. 자동화 세부 항목의 상대적 중요도(전체)

우선 순위	구분	중요도	일관성 비율
1	야드 무인 및 자동화	0.396	0.000
2	안벽 무인 및 자동화	0.344	
3	게이트 무인 및 자동화	0.261	

지능화 세부 항목의 상대적 중요도를 살펴보면, 사고방지 및 안전성 강화(0.378), 의사결정 시스템 고도화(0.332), 디지털 트윈 도입(0.290) 순으로 나타났다. 이를 통해 전체 응답자들은 지능화에 있어 사고방지 및 안전성 강화를 가장 중요하게 생각하며, 의사결정 시스템 고도화와 디지털 트윈 도입은 상대적으로 중요도를 낮게 평가한다는 것을 알 수 있다.

표 15. 지능화 세부 항목의 상대적 중요도(전체)

우선 순위	구분	중요도	일관성 비율
1	사고방지 및 안전성 강화	0.378	0.004
2	의사결정 시스템 고도화	0.332	
3	디지털 트윈 도입	0.290	

정보화 세부 항목의 상대적 중요도를 살펴보면, 통합 운영시스템 개발(0.414), 장비/기기 간 상호연계(0.362), 사이버 보안시스템 고도화(0.225) 순으로 나타났다. 이를 통해 전체 응답자들은 정보화에 있어 통합 운영시스템 개발을 가장 중요하게 평가하고, 장비/기기 간 상호연계는 이보다 0.052 덜 중요하게 평가하며, 사이버 보안시스템 고도화의 중요도는 상대적으로 가장 낮게 평가한다는 것을 알 수 있다.

표 16. 정보화 세부 항목의 상대적 중요도(전체)

우선 순위	구분	중요도	일관성 비율
1	통합 운영시스템 개발	0.414	0.001
2	장비/기기 간 상호연계	0.362	
3	사이버 보안시스템 고도화	0.225	

친환경화 세부 항목의 상대적 중요도를 살펴보면, 친환경 에너지 체제 전환(0.428), 에너지 효율성 증

대(0.360), 오염 측정 관리체계 구축(0.212) 순으로 나타났다. 이를 통해 전체 응답자들은 친환경화에 있어 친환경 에너지 체제 전환을 가장 중요하게 생각하며, 에너지 효율성 증대와 오염 측정 관리체계 구축은 상대적으로 중요도를 낮게 평가한다는 것을 알 수 있다.

표 17. 친환경화 세부 항목의 상대적 중요도(전체)

우선 순위	구분	중요도	일관성 비율
1	친환경 에너지 체제 전환	0.428	0.007
2	에너지 효율성 증대	0.360	
3	오염 측정 관리체계 구축	0.212	

4.2.4 종합 중요도 분석

전체 응답자가 평가하는 국내 스마트 항만 도입의 모든 세부 항목 간 상대적 중요도 우선순위는 야드 무인 및 자동화(0.115), 통합 운영시스템 개발(0.103), 안벽 무인 및 자동화(0.100), 사고방지 및 안전성 강화(0.095), 장비/기기 간 상호연계(0.090), 친환경 에너지 체제 전환(0.089), 의사결정 시스템

고도화(0.084), 게이트 무인 및 자동화(0.076), 에너지 효율성 증대(0.074), 디지털 트윈 도입(0.073), 사이버 보안시스템 고도화(0.056), 오염 측정 관리체계 구축(0.044) 순으로 나타났다.

전체 응답자들은 국내 스마트 항만 도입에 있어 야드 무인 및 자동화가 가장 중요하며, 통합 운영시스템 개발이 다음으로 중요하다고 평가하였다. 특히, 사고방지 및 안전성 강화가 4순위로 높게 평가된 것으로 보아 현재 항만산업에서 주요 쟁점으로 다루어지고 있는 항만 안전에 대해 중요하게 생각하는 것으로 판단된다. 또한, 주요 항목 평가에서는 친환경화가 가장 중요도가 낮은 항목으로 평가되었으나, 모든 세부 항목 간 비교에 있어서는 친환경 에너지 체제 전환이 6순위로 평가된 것으로 보아 국내 스마트 항만 도입에 있어 친환경이 가지는 역할이 중요한 것으로 판단된다.

한편, 현재 항만산업에서 사이버 공격의 발생 빈도가 꾸준히 증가하는 추세이지만, 전체 응답자들은 국내 스마트 항만 도입에 있어 사이버 보안시스템 고도화를 11순위로 평가한 것으로 보아 항만 사이버 보안에 대한 중요성과 인식을 제고할 필요성이 있다고 판단된다.

표 18. 세부 항목 종합 중요도(전체)

주요 항목			세부 항목		
구분	우선순위	중요도	구분	우선순위	중요도
자동화	1	0.292	안벽 무인 및 자동화	3	0.100
			야드 무인 및 자동화	1	0.115
			게이트 무인 및 자동화	8	0.076
지능화	2	0.252	디지털 트윈 도입	10	0.073
			사고방지 및 안전성 강화	4	0.095
			의사결정 시스템 고도화	7	0.084
정보화	3	0.249	통합 운영시스템 개발	2	0.103
			사이버 보안시스템 고도화	11	0.056
			장비/기기 간 상호연계	5	0.090
친환경화	4	0.207	친환경 에너지 체제 전환	6	0.089
			오염 측정 관리체계 구축	12	0.044
			에너지 효율성 증대	9	0.074

4.3 이해관계자별 응답 분석 결과

4.3.1 주요 항목의 상대적 중요도 분석

국내 스마트 항만 도입에 따른 이해관계자별 응답 결과를 살펴보기 위해 설문 결과를 응답자의 근무 업종별로 대학, 연구소(원), 해운 및 항만 관련 정부 기관, 해운 및 항만 관련 민간기업으로 나눈 후 분석을 수행하였다.

먼저, 대학의 주요 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 자동화(0.342), 지능화(0.278), 정보화(0.222), 친환경화(0.158) 순으로 나타났다. 연구소(원)의 주요 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 정보화(0.312), 지능화(0.243), 자동화(0.225), 친환경화(0.220) 순으로 나타났다. 정부 기관의 주요 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 정보화(0.266), 자동화(0.255), 지능화(0.240), 친환경화(0.238) 순으로 나타났다.

민간기업의 주요 항목에 대한 상대적 중요도를 살펴보면, 자동화(0.319), 지능화(0.242), 정보화(0.224), 친환경화(0.214) 순으로 나타났다.

대학과 민간기업은 전체 응답자와 주요 항목의 우선순위가 같았지만, 연구소(원)와 정부 기관의 경우 주요 항목의 우선순위가 전체 응답자의 결과와 다르게 나타났다. 특히, 자동화를 1순위로 평가한 전체 응답자, 대학, 민간기업과는 달리 연구소(원)와 정부 기관은 1순위로 자동화가 아닌 정보화를 평가하였다. 이는 항만의 자동화가 실현되기 위해서는 정보화가 먼저 선행되어야 한다고 판단한 것으로 보인다. 또한, 전체 응답자와 각 이해관계자 모두 친환경화를 4순위로 평가하였으며, 이는 국내 스마트 항만 도입에 있어 항만의 운영적 측면이 환경적 측면보다 중요하다고 판단한 것으로 보인다.

표 19. 주요 항목의 상대적 중요도(이해관계자별)

주요 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도
자동화	1	0.342	3	0.225	2	0.255	1	0.319
지능화	2	0.278	2	0.243	3	0.240	2	0.242
정보화	3	0.222	1	0.312	1	0.266	3	0.224
친환경화	4	0.158	4	0.220	4	0.238	4	0.214

4.3.2 세부 항목의 상대적 중요도 분석

대학의 자동화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 야드 무인 및 자동화(0.431), 안벽 무인 및 자동화(0.388), 게이트 무인 및 자동화(0.181) 순으로 나타났다. 연구소(원)의 자동화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 야드 무인 및 자동화(0.450), 게이트 무인 및 자동화(0.303), 안벽 무인 및 자동화(0.248) 순으로 나타났다. 정부 기관의 자동화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 야드 무인 및 자동화(0.341), 안벽 무인 및 자동화

(0.336), 게이트 무인 및 자동화(0.322) 순으로 나타났다. 민간기업의 자동화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 안벽 무인 및 자동화(0.376), 야드 무인 및 자동화(0.362), 게이트 무인 및 자동화(0.263) 순으로 나타났다.

대학, 연구소(원), 정부 기관은 전체 응답자와 동일하게 자동화에 대한 세부 항목 중 야드 무인 및 자동화를 1순위로 평가하였지만, 민간기업은 안벽 무인 및 자동화를 1순위로 평가하였다. 또한, 대학, 정부 기관, 민간기업은 전체 응답자와 동일하게 자동화에

대한 세부 항목 중 게이트 무인 및 자동화를 3순위로 평가하였지만, 연구소(원)는 게이트 무인 및 자동화를 2순위로 평가하였다.

표 20. 자동화 세부 항목의 상대적 중요도(이해관계자별)

주요 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도
안벽 무인 및 자동화	2	0.388	3	0.248	2	0.336	1	0.376
야드 무인 및 자동화	1	0.431	1	0.450	1	0.341	2	0.362
게이트 무인 및 자동화	3	0.181	2	0.303	3	0.322	3	0.263

다음으로 대학의 지능화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 디지털 트윈 도입(0.381), 의사결정 시스템 고도화(0.339), 사고방지 및 안전성 강화(0.281) 순으로 나타났다. 연구소(원)의 지능화에

대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 의사결정 시스템 고도화(0.359), 사고방지 및 안전성 강화(0.347), 디지털 트윈 도입(0.295) 순으로 나타났다.

표 21. 지능화 세부 항목의 상대적 중요도(이해관계자별)

주요 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도
디지털 트윈 도입	1	0.381	3	0.295	3	0.198	3	0.279
사고방지 및 안전성 강화	3	0.281	2	0.347	1	0.550	1	0.380
의사결정 시스템 고도화	2	0.339	1	0.359	2	0.252	2	0.341

정부 기관의 지능화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 사고방지 및 안전성 강화(0.550), 의사결정 시스템 고도화(0.252), 디지털 트윈 도입(0.198) 순으로 나타났다. 민간기업의 지능화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 사고방지 및 안전성 강화(0.380), 의사결정 시스템 고도화(0.341), 디지털 트윈 도입(0.279) 순으로 나타났다. 정부 기관과 민간기업은 전체 응답자와 동일하게

지능화에 대한 세부 항목 중 사고방지 및 안전성 강화를 1순위로 평가하였지만, 연구소(원)는 사고방지 및 안전성 강화를 2순위로 평가하였고, 대학은 사고방지 및 안전성 강화를 3순위로 평가하였다. 또한, 연구소(원), 정부 기관, 민간기업은 전체 응답자와 동일하게 지능화에 대한 세부 항목 중 디지털 트윈 도입을 3순위로 평가하였지만, 대학은 디지털 트윈 도입을 1순위로 평가하였다.

표 22. 정보화 세부 항목의 상대적 중요도(이해관계자별)

주요 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도
통합 운영시스템 개발	1	0.508	1	0.470	1	0.397	2	0.334
사이버 보안시스템 고도화	3	0.167	3	0.192	3	0.237	3	0.279
장비/기기 간 상호연계	2	0.324	2	0.339	2	0.367	1	0.387

다음으로 대학의 정보화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 통합 운영시스템 개발(0.508), 장비/기기 간 상호연계(0.324), 사이버 보안시스템 고도화(0.167) 순으로 나타났다. 연구소(원)의 정보화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 통합 운영시스템 개발(0.470), 장비/기기 간 상호연계(0.339), 사이버 보안시스템 고도화(0.192) 순으로 나타났다. 정부 기관의 정보화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 통합 운영시스템 개발(0.397), 장비/기기 간 상호연계(0.367), 사이버 보안시스템 고도화(0.237) 순으로 나타났다. 민간기업의 정보화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 장비/기기 간 상호연계(0.387), 통합 운영시스템 개발(0.334), 사이버 보안시스템 고도화(0.279) 순으로 나타났다.

대학, 연구소(원), 정부 기관은 전체 응답자와 동일하게 정보화에 대한 세부 항목 중 통합운영시스템 개발을 1순위, 장비/기기 간 상호연계를 2순위, 사이버 보안시스템 고도화를 3순위로 평가하였지만, 민간

기업은 장비/기기 간 상호연계를 1순위, 통합 운영시스템 개발을 2순위로 평가하였다. 또한, 전체 응답자와 각 이해관계자 모두 사이버 보안시스템 고도화를 3순위로 평가하였다.

다음으로 대학의 친환경화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 친환경 에너지 체제 전환(0.443), 에너지 효율성 증대(0.324), 오염 측정 관리체제 구축(0.233) 순으로 나타났다. 연구소(원)의 친환경화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 에너지 효율성 증대(0.425), 친환경 에너지 체제 전환(0.368), 오염 측정 관리체제 구축(0.207) 순으로 나타났다. 정부 기관의 친환경화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 친환경 에너지 체제 전환(0.500), 에너지 효율성 증대(0.334), 오염 측정 관리체제 구축(0.166) 순으로 나타났다. 민간기업의 친환경화에 대한 세부 항목 상대적 중요도를 살펴보면, 친환경 에너지 체제 전환(0.420), 에너지 효율성 증대(0.356), 오염 측정 관리체제 구축(0.224) 순으로 나타났다.

표 23. 친환경화 세부 항목의 상대적 중요도(이해관계자별)

주요 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도	우선순위	중요도
친환경 에너지 체제 전환	1	0.443	2	0.368	1	0.500	1	0.420
오염 측정 관리체제 구축	3	0.233	3	0.207	3	0.166	3	0.224
에너지 효율성 증대	2	0.324	1	0.425	2	0.334	2	0.356

대학, 정부 기관, 민간기업은 전체 응답자와 동일하게 친환경화에 대한 세부 항목 중 친환경 에너지 체제 전환을 1순위, 에너지 효율성 증대를 2순위, 오염 측정 관리체제 구축을 3순위로 평가하였지만, 연구소(원)는 에너지 효율성 증대를 1순위, 친환경 에너지 체제 전환을 2순위로 평가하였다. 또한, 전체

응답자와 각 이해관계자 모두 오염 측정 관리체제 구축을 3순위로 평가하였다.

4.3.3 종합 중요도 분석

국내 스마트 항만 도입의 세부 항목에 대한 우선 순위 및 중요도를 이해관계자별로 나타내면 <표 24>

와 같다. 이해관계자별 상위 4순위까지 살펴보면, 대학의 경우 야드 무인 및 자동화(0.148), 안벽 무인 및 자동화(0.133), 통합 운영시스템 개발(0.113), 디지털 트윈 도입(0.106) 순으로 평가하였다. 연구소(원)의 경우 통합 운영시스템 개발(0.146), 장비/기기 간 상호연계(0.105), 야드 무인 및 자동화(0.101), 에너지 효율성 증대(0.094) 순으로 평가하였다. 정부

기관의 경우 사고방지 및 안전성 강화(0.132), 친환경 에너지 체제 전환(0.119), 통합 운영시스템 개발(0.106), 장비/기기 간 상호연계(0.098) 순으로 평가하였다. 민간기업의 경우 안벽 무인 및 자동화(0.120), 야드 무인 및 자동화(0.115), 사고방지 및 안전성 강화(0.092), 친환경 에너지 체제 전환(0.090) 순으로 평가하였다.

표 24. 세부 항목 종합 중요도(이해관계자별)

주요 항목	세부 항목	대학		연구소(원)		정부 기관		민간기업	
		우선 순위	중요도	우선 순위	중요도	우선 순위	중요도	우선 순위	중요도
자동화	안벽 무인 및 자동화	2	0.133	11	0.056	6	0.086	1	0.120
	야드 무인 및 자동화	1	0.148	3	0.101	5	0.087	2	0.115
	게이트 무인 및 자동화	9	0.062	9	0.068	7	0.082	6	0.084
지능화	디지털 트윈 도입	4	0.106	8	0.072	11	0.048	10	0.068
	사고방지 및 안전성 강화	6	0.078	6	0.084	1	0.132	3	0.092
	의사결정 시스템 고도화	5	0.094	5	0.087	10	0.060	7	0.083
정보화	통합 운영시스템 개발	3	0.113	1	0.146	3	0.106	9	0.075
	사이버 보안시스템 고도화	11	0.037	10	0.060	9	0.063	11	0.063
	장비/기기 간 상호연계	7	0.072	2	0.105	4	0.098	5	0.087
친환경화	친환경 에너지 체제 전환	8	0.070	7	0.081	2	0.119	4	0.090
	오염 측정 관리체제 구축	12	0.037	12	0.046	12	0.040	12	0.048
	에너지 효율성 증대	10	0.051	4	0.094	8	0.080	8	0.076

4.4 분석 결과에 따른 시사점

국내 스마트 항만 도입의 주요 항목에 대한 이해관계자별 상대적 중요도를 살펴본 결과, 대학, 연구소(원), 정부 기관, 민간기업 모두 항만의 친환경화를 가장 후순위인 4순위로 평가하였다. 이는 스마트 항만의 선두 주자라고 할 수 있는 네덜란드의 로테르담항만과 독일의 함부르크항만이 항만의 친환경화에 높은 우선순위를 두고 개발 및 투자하고 있는 현재

상황과 대비되는 결과로 판단된다. 또한, 세계 주요 항만뿐만 아니라 부산항, 인천항, 울산항 등 국내 주요 항만 역시 최근 항만별 2050 탄소중립 로드맵을 수립 및 발표하면서 항만의 친환경화에 대한 관심과 중요도가 증대되고 있지만, 여전히 모든 이해관계자는 항만의 친환경화가 자동화, 지능화, 정보화에 비해 도입의 중요도가 낮은 것으로 인식하고 있다.

다음으로 국내 스마트 항만 도입의 세부 항목에

대한 이해관계자별 상대적 중요도를 살펴본 결과, 대학과 연구소(원)는 항만의 사고방지 및 안전성 강화를 6순위로 평가하였지만, 정부 기관과 민간기업은 각각 1순위, 3순위로 높게 평가하였다. 이는 2022년부터 시행되고 있는 중대재해처벌법에 따라 해운·항만산업에서도 안전에 대한 규제와 중요도가 증대된 결과로 판단된다. 특히, 해당 법률을 시행하는 정부 기관과 현장에서 안전을 관리 및 감독하는 민간기업이 대학과 연구소(원)에 비해 항만 안전의 중요도가 높은 것으로 인식하고 있다.

IV. 결론

본 연구는 최근 항만산업에서 스마트 항만에 대한 중요성이 증가함에 따라 세계 주요 항만의 스마트 항만 도입을 위한 투자 및 개발이 활발해지고 있는 상황에서, 국내 스마트 항만 도입의 우선순위 도출이 필요함에 주목하여 연구를 진행하였다. 대부분의 선행연구는 스마트 항만의 자체적인 도입에 중점을 두기보다는 스마트 항만의 도입에 따른 스마트 기술 도입에 중점을 두는 연구가 많았다. 또한, AHP 분석을 위해 주요 항목을 구성하는 단계에서 단순히 선행연구, 사례조사, 브레인스토밍 등을 실시하여 주요 항목을 선정할 한계점이 있었다.

이에 따라 본 연구는 기존 선행연구와는 달리 스마트 항만과 관련된 국내 뉴스와 논문 자료를 대상으로 키워드 분석을 통해 주요 항목들을 도출하여 신뢰성 및 타당성을 확보하였다. 또한, 디지털 전환에 따른 항만의 지능화와 정보화뿐만 아니라 자동화와 친환경화 등을 포함하는 종합적인 스마트 항만 구축에 대한 필요성이 언급되고 있는 가운데 다양한 이해관계자들을 대상으로 진행한 AHP 분석 결과를 바탕으로 국내 스마트 항만의 종합적인 도입을 위한 우선순위를 도출하였다.

분석 결과, 주요 항목의 경우 대학은 자동화, 지능

화, 정보화, 친환경화 순으로 나타났고, 연구소(원)는 정보화, 지능화, 자동화, 친환경화 순으로 나타났다. 정부 기관은 정보화, 자동화, 지능화, 친환경화 순으로 나타났고, 민간기업은 자동화, 지능화, 정보화, 친환경화 순으로 나타났다.

다음으로 세부 항목의 경우 대학은 야드 무인 및 자동화, 안벽 무인 및 자동화, 통합 운영시스템 개발 등의 순으로, 연구소(원)는 통합 운영시스템 개발, 장비/기기 간 상호연계, 야드 무인 및 자동화 등의 순으로, 정부 기관은 사고방지 및 안전성 강화, 친환경 에너지 체제 전환, 통합 운영시스템 개발 등의 순으로, 민간기업은 안벽 무인 및 자동화, 야드 무인 및 자동화, 사고방지 및 안전성 강화 등의 순으로 나타났다.

이상으로 본 연구에서 도출된 이해관계자별 결과로부터 다음과 같은 유의미한 시사점을 도출하였다. 첫째, 대학, 연구소(원), 정부 기관, 민간기업 모두 항만의 자동화는 높은 순위로 평가하였지만, 항만의 친환경화는 4순위로 평가하였다. 이는 모든 이해관계자가 국내 스마트 항만의 도입에 있어 항만의 환경적인 측면보다 운영적인 측면이 더욱 중요하다고 판단한 것으로 보인다. 하지만, 세계 주요 항만들을 살펴보면 항만의 친환경화가 스마트 항만 도입에 높은 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 결과는 한국해양수산개발원(2018)의 동향 분석에서 제시되었던 것과 마찬가지로 우리나라는 현재까지 5년이 지났음에도 불구하고 여전히 스마트 항만 구축을 항만의 자동화와 동일한 의미로 인식하는 경향이 있는 것으로 판단된다.

둘째, 디지털 전환에 따른 항만산업의 대표적인 기술 중 하나인 디지털 트윈 도입의 경우 연구소(원), 정부 기관, 민간기업은 각각 8순위, 11순위, 10순위로 평가하면서 우선순위가 낮았지만, 대학의 경우 4순위로 평가하면서 디지털 전환에 따른 항만산업의 대응 전략으로 디지털 트윈 도입을 높은 우선순위로 선정하였다. 현재 중국의 선전항과 네덜란드의 로테

르담항은 이미 이러한 디지털 트윈 모형을 도입하여 항만의 전체적인 상황을 신속하게 파악하고 실시간 정보공유 및 모니터링을 통해 항만을 효율적으로 운영하고 있다. 따라서 우리나라도 이러한 디지털 전환 추세에 효과적으로 대응하기 위해서는 디지털 트윈과 같은 신기술에 대한 정부 차원에서의 적극적인 연구개발 지원 및 상용화를 위한 테스트베드 구축과 학계 차원에서의 심층적인 연구가 필요하다.

셋째, 2022년 1월부터 시행된 중대재해처벌법으로 인해 항만산업에서도 안전의 중요성이 증대되고 있다. 대학과 연구소(원)는 항만의 지능화 세부 항목인 사고방지 및 안전성 강화를 6순위로 평가하였지만, 정부 기관은 1순위, 민간기업은 3순위로 우선순위를 높게 평가하였다. 디지털 전환에 따른 항만의 지능화는 단순히 항만 운영의 효율성을 증대시킬 뿐만 아니라 인공지능 기술을 활용하여 화물의 흐름을 실시간으로 파악 및 예측하여 항만 노동자의 사고를 사전에 방지하고 현장에서의 안전성을 강화하는 기능을 포함하고 있다. 따라서 국내 스마트 항만 구축 시 항만의 지능화 측면에서 디지털 전환을 통한 신기술 도입과 안전성 확보를 동시에 추구하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

넷째, 항만의 정보화 세부 항목인 통합 운영시스템 개발의 경우 대학, 연구소(원), 정부 기관은 각각 3순위, 1순위, 3순위로 우선순위를 높게 평가하였지만, 실제 사용 주체인 민간기업은 9순위로 낮게 평가하였다. 정보화를 통해 항만을 효율적으로 운영하기 위해서는 전체 터미널의 운영 상황 실시간 모니터링 및 공유가 필수적이지만, 이러한 정보는 기업의 경영 활동에 있어 매우 민감한 부분이기 때문에 항만당국을 포함한 정부는 기업과의 긴밀한 협의를 통해 기업 간 자유 경쟁을 침해하지 않으면서 스마트 항만을 구축하는 방안 마련이 필요하다.

다섯째, 최근 항만산업에서 기술 고도화에 따른 대응 방안으로 항만 보안에 대한 관심과 중요성이 증대됨에 따라 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있지

만, 항만의 정보화 세부 항목인 사이버 보안시스템 고도화의 경우 대학은 11순위, 연구소(원)는 10순위, 정부 기관은 9순위, 민간기업은 11순위로 평가하면서 모든 이해관계자가 항만 보안에 대해 우선순위를 낮게 평가하였다. 하지만, 해운·항만산업에서의 사이버 공격 빈도는 꾸준히 증가하고 있어 대책 마련이 시급한 상황이다. 한국해운신문(2023)에 따르면, 2018년부터 2022년까지 최근 5년 동안 부산항만공사, 인천항만공사, 울산항만공사, 여수광양항만공사를 대상으로 정보 유출과 시스템 권한 획득 등 총 449건의 사이버 공격이 발생한 것으로 확인되었다. 특히, 사이버 공격 발생 빈도는 2018년 41건에서 2022년 227건으로 무려 5.5배가 증가하였으며, 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 따라서 모든 이해관계자는 항만의 사이버 보안에 대한 인식을 제고할 필요성이 있으며, 국내 스마트 항만 도입 시 항만의 정보화 측면에서 선박 및 항만 시스템에 대한 사이버 공격에 대비할 수 있는 방안을 신속하게 마련해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 기존 선행연구와는 달리 스마트 항만과 관련된 국내 뉴스 및 논문 자료를 대상으로 키워드 분석을 수행하여 신뢰성 및 타당성 있는 주요 항목을 도출하였다. 특히, 세계적으로 스마트 항만에 대한 관심과 중요성이 증대되고 있는 현시점에서 AHP 분석을 통해 국내 스마트 항만 도입의 우선순위를 이해관계자별로 도출하고, 이에 대한 해석 및 대응책 등 시사점을 제시하였다는 데 그 의의가 있다.

그러나 본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 AHP 분석을 위해 구성한 세부 항목의 경우 키워드 분석을 통해 도출한 주요 항목과는 달리 선행연구에 기초하여 선정하였기 때문에 주요 항목에 비해 신뢰성 및 타당성을 확보하지 못하였다.

둘째, 본 연구는 설문 대상 중 정부 기관의 경우 해양수산부, 지자체, 항만공사 등을 모두 포괄하였고, 민간기업의 경우 터미널과 선사 등을 모두 포괄함으로써 설문 대상을 구체화하여 선정하지 못하였

다. 예를 들어, 항만 서비스 이용자인 선사와 항만 서비스 제공자인 터미널과의 중요도 차이가 존재할 수 있고, 중앙부처인 해양수산부와 항만당국인 항만 공사와의 중요도 차이가 존재할 수 있기 때문에 이러한 가능성을 반영하지 못하였다.

셋째, 본 연구의 AHP 분석에 사용된 이해관계자별 설문지 수가 균등하지 못하였다. 대학 13부, 연구소(원) 12부, 정부 기관 10부와는 달리 민간기업의 경우 21부를 분석에 사용함으로써 기업의 대표성에 비해 대학, 연구소(원), 정부 기관의 대표성을 확보하지 못하였다.

따라서 향후 연구에서는 위와 같은 한계점을 반영하여 더욱더 합리적이고 구체적인 국내 스마트 항만 구축을 위한 우선순위를 도출해야 할 것으로 보인다. 또한, 이러한 우선순위를 바탕으로 실제 국내 스마트 항만 도입 시 필요한 경비와 같은 재원 파악과 법률적인 검토, 그리고 예상되는 적용 효과 및 영향 등에 대해 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김지안(2021), 국내 스마트항만 정책 개선방안에 관한 비교 연구: 유럽 항만 사례를 중심으로, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
- 김승철·최용석(2021), 평양항의 스마트항만 도입방안 연구: 평양항의 스마트항만 테스트베드를 중심으로, 한국해운물류학회지, 제37권, 제3호, 461-474.
- 김주혜·김울성(2021), 부산항 스마트기술의 도입 우선순위 분석: 항만터미널과 항만 배후단지를 중심으로, 한국해운물류학회지, 제37권, 제3호, 601-621.
- 등석(2021), 스마트항만의 비즈니스 모델에 관한 연구, 순천대학교 대학원 석사학위논문
- 박귀분·최용석·김선구(2020), 스마트 평양항 개발 및 운영 방안 연구, 한국해운물류학회지, 제36권, 제1호, 101-116.
- 송종무(2021), 우리나라 스마트 항만 활성화에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문
- 이언경·이수영(2019), 4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석, 한국해운물류학회지, 제35권, 제2호, 323-348.
- 이태휘(2020), 스마트항만의 해외사례 분석과 정책 시사점: 유럽과 싱가포르를 중심으로, 한국항만경제학회지, 제36권, 제1호, 77-90.
- 원승환·조성우(2020), 유럽의 스마트 항만 정책 사례를 통한 시사점 연구, EU연구, 제56호, 253-292.
- 안연선·정경미·송재홍(2020), 키워드 네트워크 분석을 통한 '교육심리연구'의 지식구조 탐색, 한국교육심리학회지, 제34권, 제2호, 393-419.
- 이재훈·장명희(2022), 국내 스마트 항만의 지속가능성 영역과 지표의 우선순위에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 제38권, 제4호, 65-85.
- 이수현·김재윤(2022), Industry 4.0 시대의 스마트 항만 효율성 평가, 한국산업경제학회지, 제35권, 제5호, 1075-1096.
- 웨이치·원승환(2022), 스마트 항만 구축을 위한 신기술 도입과 전략에 관한 연구, 전자무역연구, 제20권, 제2호, 1-18.
- 정태원(2018), 스마트 항만의 선진사례 분석과 시사점, 한국해운물류학회지, 제34권, 제3호, 489-510.
- 전용민·홍재성(2021), 스마트 항만 구축에 따른 시사점과 정책적 제언에 대한 연구, 한국국제상학회지, 제36권, 제4호, 195-213.
- 주세훈·박진우(2022), 스마트 항만의 친환경 요소에 대한 연구, 한국해양비즈니스학회지, 제53호, 165-187.

- 조현성(2022), 광양항 스마트기술 도입 우선순위 분석 연구, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문
- 최성희(2020), 스마트항만 도입에 대한 항만 운영자와 이용자 간의 인식차이에 관한 실증연구, 한국항만경제학회지, 제36권, 제3호, 99-114.
- 차재웅·김율성·신영란(2021), 항만 스마트지수 개발에 관한 연구, 한국해운물류학회지, 제37권, 제1호, 113-140.
- 홍종욱(2018), 스마트항만 도입 결정요인과 성과에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 박사학위논문
- 한국해운신문(2023), 국감/“항만 사이버공격 5년새 5.5배 증가”. 10월 23일자
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., and Foo, S.(2001), Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis, *Information processing & Management*, 37(6), 817-842.
- Korea Maritime Institute(2018), Weekly Report, Vol.74.
- Korea Labor Institute(2022), The Impact of Smart Port Introduction on Employment.

국내 스마트 항만 도입 우선순위 도출 연구

류원형 · 남형식

국문요약

2016년 6월 세계경제포럼인 다보스 포럼에서 4차산업혁명이라는 용어가 처음 사용되어 전 세계적으로 이슈화되었고, 이에 따라 항만산업도 다양한 4차산업혁명 기술을 도입하면서 스마트 항만의 중요성이 증대되고 있다. 현재 세계 주요국들은 해운·항만산업에서 디지털 전환을 실현하기 위해 종합적인 스마트 항만을 구축하고 있지만, 국내 항만의 스마트화는 현재 부산과 인천, 광양 등 일부 지역에 항만 자동화로 국한되어 추진하고 있다. 이에 따라 본 연구는 국내 스마트 항만 도입의 우선순위를 도출하기 위해 키워드 분석을 수행하여 스마트 항만의 주요 항목들을 도출하고, 이를 바탕으로 이해관계자별 AHP 분석을 수행하였다. 분석 결과, 주요 항목의 경우 대학은 자동화, 지능화, 정보화, 친환경화 순으로 나타났고, 연구소(원)는 정보화, 지능화, 자동화, 친환경화 순으로 나타났다. 정부 기관은 정보화, 자동화, 지능화, 친환경화 순으로 나타났고, 민간기업은 자동화, 지능화, 정보화, 친환경화 순으로 나타났다. 다음으로 세부 항목의 경우 대학은 야드 무인 및 자동화, 안벽 무인 및 자동화, 통합 운영 시스템 개발 등의 순으로, 연구소(원)는 통합 운영시스템 개발, 장비/기기 간 상호연계, 야드 무인 및 자동화 등의 순으로, 정부 기관은 사고방지 및 안전성 강화, 친환경 에너지 체제 전환, 통합 운영시스템 개발 등의 순으로, 민간기업은 안벽 무인 및 자동화, 야드 무인 및 자동화, 사고방지 및 안전성 강화 등의 순으로 나타났다.

주제어 : 키워드 분석, 텍스트 마이닝, 워드 클라우드, AHP 분석, 스마트 항만