

AHP분석을 활용한 스마트항만 기술 도입 우선순위 도출

- 광양항 자동화부두를 중심으로 -*

한승훈** · 안승현*** · 이해령****

Development of Smart Port Technology Introduction Priorities Using AHP Analysis

- Focusing on the automation pier of Gwangyang Port -

Han, Seung-Hoon · Ahn, Seung-Hyun · Lee, Hye-Ryeong

Abstract

This study focuses on prioritizing the technology needed for the Gwangyang Port automated terminal. While the world's leading ports are moving forward with the implementation of full unmanned automation and digital smartisation, South Korea is still in the early stages of this process. In order to enhance domestic smart port capabilities and technological competitiveness, the government is promoting the construction of a fully automated terminal at Gwangyang Port. This terminal will test various advanced technologies in the domestic port sector and build infrastructure capable of responding to increasingly sophisticated technologies. The study defines the concept of a smart port for Gwangyang Port and derives an advanced technology pool from domestic and international research. Expert survey and AHP analysis were used to calculate the weight of each technology attribute based on characteristics and urgency. The integration of these weights and importance scores determined the priority of technology adoption. The results showed that automation and optimisation technologies had the highest priority, while environmental and energy-related technologies ranked lower.

Key words: Gwangyang port, Gwangyang port automated terminal, Smart port, advanced technology, AHP

▷ 논문접수: 2024. 05. 27. ▷ 심사완료: 2024. 06. 30. ▷ 게재확정: 2024. 06. 30.

* 이 논문은 2023년 한국해양수산개발원에서 수행한 「광양항 자동화부두 구축사업 최적화 모델링 연구용역」의 내용 중 일부를 연구의 목적에 맞게 수정·보완하여 작성한 것으로 여수광양항만공사의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, "AHP분석을 활용한 스마트항만 기술 도입 우선순위 도출 - 광양항 자동화부두를 중심으로 -"이란 제목으로 "2023 한국항해항만학회 춘계학술대회논문집(Vol. 2023 No. 1, pp. 106-107.)에 발표되었음

** 한국해양수산개발원 연구원, 제1저자, hihans@kmi.re.kr

*** 한국해양수산개발원 부연구위원, 공동저자, shan@kmi.re.kr

**** 한국해양수산개발원 전문연구원, 교신저자, hrlee@kmi.re.kr

I. 서 론

4차 산업혁명의 등장으로 최근 10년간 전 산업분야에 큰 변화가 일어났다. 새로운 기술이 등장하고 기존 기술이 소멸 혹은 고도화되었으며, 각 산업분야에 진보된 기술들이 적용되고 있다. 이러한 시대적 흐름에 따라 항만분야에서도 AI(Artificial Intelligence), IoT(Internet of Things) 등 첨단 기술을 기반으로 하는 항만의 스마트화, 디지털화 등 전 세계적으로 스마트항만 개발이 활발히 진행 중이다. 싱가포르, 네덜란드, 중국 등 전 세계 선진 항만들은 하역, 이송, 야드 등 전영역에서 운행되는 단순 하역장비의 완전 무인 자동화 도입뿐만 아니라 더 나아가 디지털 정보를 기반으로 항만 인프라, 하역장비, 해운-항만-내륙운송 등 항만의 모든 구성요소를 초연결하는 항만의 디지털화·스마트화를 추진 중이다.

그럼에도 불구하고 우리나라의 스마트항만 도입 수준은 이제 막 초기 단계에 진입하고 있다. 2024년 4월 국내 최초 전 영역 자동화 터미널인 부산항 신항 서컨테이너부두 2-5단계가 개장했고, 2026년 부산항 신항 서컨테이너부두 2-6단계가 개장 예정으로 해양수산부에서는 지속적으로 스마트항만 구축 관련 과제를 수행하고 정책 방향을 설정하고 있지만, 자동화뿐만 아니라 지능화, 친환경화 등 스마트항만 실현을 위해 다양한 측면에서 투자 및 개발하고 있는 세계 선진 항만과는 달리, 우리나라의 항만 스마트화는 현재 부산과 인천, 광양 등 일부 지역에 항만 자동화로 국한되어 추진하고 있는 실정이다(최성희, 2020, 류원형·남형식, 2024, 한국해양수산개발원, 2023).

한편, 해양수산부는 광양항 3-2단계 컨테이너 터미널 4선석에 테스트베드 역할을 수행하는 자동화 컨테이너 터미널을 구축하는 사업을 추진하고 있다. 이를 통해 안정적인 국내 자동화 터미널 도입 기반을 만들고, 국내 스마트항만 기술 및 산업의 경쟁력을 확보할 계획이다. 이러한 맥락에서 해양수산부(2023)은 광양항 자동화부두를 통해 확보된 국내기술 및

실적을 기반으로 부산항 진해신항을 세계 최고 수준의 스마트항만으로 개발할 계획을 발표하기도 했다. 이처럼 정부에서는 광양항 자동화부두 구축 사업을 광양항 스마트항만 구축 전략과 광양항을 넘어 국내 항만의 스마트화를 촉진하고 기술경쟁력을 확보할 수 있는 초석이 되는 매우 중요한 사업으로 인식하고 있다. 이에, 광양항 자동화부두는 국내 항만분야의 다양한 첨단기술을 검증하고, 더욱 고도화되는 기술들에 대응할 수 있는 선진형 인프라 구축이 필요하다. 또한, 지속적으로 물동량이 감소하고 있는 광양항에 우리나라의 선도형 스마트항만으로 패러다임 전환을 할 수 있는 시기적절한 사업이라 판단된다. 따라서 광양항 자동화부두는 단순 자동화 항만장비를 도입하는 것에 그치지 않고 더 나아가 국내 기술 기반의 스마트항만으로 구축함으로써, 우리나라가 스마트항만 기술시장을 선도할 수 있도록 하는 도약 기반이 되어야 할 것이다.

한편, 그동안 스마트항만 기술을 도출하기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔으나, 주로 항만 장비의 자동화와 관련된 기술을 중점적으로 연구하고 있어 디지털 전환 기술을 포함한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다(송현덕·장명희, 2023). 또한, 스마트항만 기술 도입과 관련 선행연구들은 부산항을 대상으로 하는 연구가 주를 이루고 있으며, 광양항을 대상으로 하는 연구는 비교적 최근 일부 수행되었다(김승철·최용석, 2021, 조현성, 2022). 이에 본 연구는 국내 최초 한국형 스마트항만으로 구축 예정인 광양항을 대상으로, 선진형 스마트항만 기술의 도입 우선순위를 산정하여 광양항의 전략적 발전방향을 검토하는 데 의의가 있다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 선행연구 검토를 통해 스마트 항만에 대해 조작적으로 정의하였다. 다음으로 국내외 선행연구 분석을 통해 스마트항만 관련 첨단기술 Pool을 도출하였다. 그리고 광양항의 스마트항만 기술 도입 우선순위 도출을 위한 전문가 설문조사를 실시하였다. 이를 위해 먼저

AHP(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP) 방법론을 활용하여 스마트항만 기술 특성 및 기술도입 시 급성을 기반으로 스마트항만 기술 속성별 가중치를 산정하였다. 그리고 속성별 가중치와 각 기술별 중요도 점수를 종합하여 광양항 스마트항만 구축을 위한 스마트항만 기술 도입 우선순위를 도출하였다. 이 연구는 광양항 스마트항만의 미래전략 수립시 활용할 수 있는 근거자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 스마트항만 정의 및 선행연구

1. 스마트항만 정의

스마트항만은 국내외 다양한 연구에서 정의되어 왔다. 이연경·이수영(2019)은 항만 및 해운, 항만도시 등 전체 공급망 내 이해관계자들이 첨단기술로 연결되는 정보화 및 지능형 항만이라 정의하였고, 해양수산부(2019)는 스마트항만을 안벽에서 야드까지 항만 전체의 자동화를 추구하는 자동화 항만과 항만 내 IoT가 접목된 항만과 선박 간의 최적 연계 운영이 가능한 지능화 항만이라고 정의하였다. ClipperMaritime(2018)은 생산성을 제고시키고 작업 환경을 안전하게 만들며, 배출가스와 운영비용을 줄이는 동시에 운영의 일관성을 제공하는 항만으로 정의하였다. 김근섭 외(2018)는 IoT, AI 등 신기술과 혁신을 통한 물류 최적화, 효율적 에너지 사용, 친환경, 배후도시와 연계 강화 등 항만의 포괄적인 기능 및 역할이 포함된 개념으로 정의하였다. Wipro Limit(2015)는 IT인프라, 데이터 흐름, 안전 및 보안,

가시성, 생산성 등의 개선과 수익창출 및 운영비용 절감 등의 요인으로 실현되는 항만으로 정의하였다. Deloitte(2017)는 공간 제약, 생산성 한계, 투자재원 등의 자원 제약, 안전 보안위험, 지속 가능한 발전 등 항만이 직면한 현재 및 미래의 문제를 해결할 수 있는 솔루션 자체적으로 개발하는 항만으로 정의하였다. Accenture(2016)는 정보기술 및 비즈니스 모델 혁신으로 지능형 데이터를 수집배포하고, 항만 생태계의 물류, 정보, 현금흐름의 효율화를 추진하는 항만으로 정의하였다. Port Technology(2016)는 스마트항만은 미래 생존 가능한 유일한 항만이며, 시간과 공간, 투자재원 및 장비의 낭비가 없는 항만으로 정의하였다. HPA(Hamburg Port Authority, 이하 HPA)는 고객에게 최고의 서비스를 제공하여 지속 가능한 경제성장을 달성하고, 항만도시민에게 항만에서 유발되는 미세먼지 등 환경영향을 최소화하여 삶의 질을 향상시키는 항만으로 정의하였다.

종합하면, 스마트항만에 대해 연구자마다 다양하게 정의를 내리고 있음을 알 수 있다. 이렇듯 스마트항만의 개념을 명확히 정의하기에는 어려움이 있지만, 일반적으로 ICT, IoT, AI 등의 첨단기술을 도입하는 것을 스마트항만을 구현하는 핵심으로 볼 수 있고, 항만 내 전 영역의 장비 간 정보 교류 및 연계를 통한 의사결정 및 자원을 효율적으로 활용하는 흐름으로 인지할 수 있다. 이에 본 연구에서는 광양항 스마트항만을 “항만 전 영역의 완전 무인자동화 장비를 바탕으로 실시간 데이터를 수집하고, 친환경 장비 도입·전환을 통한 친환경성, 안전성을 제고하며, 육해공 물류 흐름을 최적화하는 미래 선도형 항만”으로 조작적으로 정의하고자 한다.

표 1. 스마트항만 정의 관련 선행연구

저자	정의
이언경·이수영 (2019)	항만 및 해운, 항만도시 등 전체 공급망 내 이해관계자들이 첨단기술로 연결되는 정보화 및 지능형 항만
해양수산부 (2019)	스마트항만을 안벽에서 야드까지 항만 전체의 자동화를 추구하는 자동화 항만과 항만 내 IoT가 접목된 항만과 선박 간의 최적 연계 운영이 가능한 지능화 항만이라고 정의
ClipperMaritime (2018)	생산성을 제고시키고 작업환경을 안전하게 만들며, 배출가스와 운영비용을 줄이는 동시에 운영의 일관성을 제공하는 항만
김근섭 외(2018)	IoT, AI 등 신기술과 혁신을 통한 물류 최적화, 효율적 에너지 사용, 친환경, 배후도시와 연계 강화 등 항만의 포괄적인 기능 및 역할이 포함된 항만
Deloitte (2017)	공간 제약, 생산성 한계, 투자재원 등의 자원 제약, 안전보안위협, 지속가능한 발전 등 항만이 직면한 현재 및 미래의 문제를 해결할 수 있는 솔루션을 자체적으로 개발하는 항만
Wipro Limit사 (2015)	IT인프라, 데이터 흐름, 안전 및 보안, 가시성, 생산성 등의 개선과 수익창출 및 운영비용 절감 등의 요인으로 실현되는 항만
Accenture (2016)	정보기술 및 비즈니스 모델 혁신으로 지능형 데이터를 수집배포하고, 항만 생태계의 물류, 정보, 현금흐름의 효율화를 추진하는 항만
Port Technology (2016)	스마트항만은 미래 생존 가능한 유일한 항만이며, 시간과 공간, 투자재원 및 장비의 낭비가 없는 항만
HPA	고객에게 최고의 서비스를 제공하여 지속 가능한 경제성장을 달성하고, 항만도시민에게 항만에 서 유발되는 미세먼지 등 환경영향을 최소화하여 삶의 질을 향상시키는 항만

출처: 이언경·이수영(2019) 및 한국해양수산개발원(2021) 재인용; 해양수산부(2019), PortTechnology(2018)

2. 스마트항만 기술 관련 연구동향

스마트항만을 구축하기 위한 스마트기술과 관련된 다양한 연구가 수행되어왔다. 조현성(2022)은 IPA모형을 활용하여 공통기술, 안벽, 이송, 야드 및 게이트 영역 등의 세부 기술을 도출하고 광양항 컨테이너 터미널에 도입이 필요한 스마트기술 우선순위 도출하였다. 김승철·최용석(2021)은 IPA모형을 활용하여 스마트기술 영역 및 정부지원 및 민간영역 2가지로 구분하여 중요도 및 적합도 평가를 통해 기술 우선순위를 도출하였다. 김아영 외(2020)는 AHP를 활용하여 컨테이너 터미널의 게이트, 야드, 안벽, 정보 시스템별 우선기술을 도출하였다. 이언경·이수영(2019)은 안벽, 이송 등 항만영역별로 분류하고 전문가 설문을 통해 세계수준 대비 국내 항만의 자동화 수준 측정 및 비교하였다.

이와 같이, 스마트항만에 스마트기술을 도입하기 위한 연구는 활발히 이루어졌지만, 국내 기술 기반의

스마트항만을 구축을 목적으로 하는 광양항에 초점을 맞추어 스마트기술의 도입 우선순위를 도출한 연구는 상대적으로 미흡하다. 이에 본 연구는 광양항 자동화부두에 도입이 필요한 스마트기술 Pool을 제시하였고 우선순위를 도출하였다.

표 2. 스마트항만 기술 관련 주요 선행연구

저자	주요 연구내용	연구방법
조현성 (2022)	공통기술, 안벽, 이송, 야드 및 게이트 영역 등의 기술 우선순위 도출	· IPA모형
김승철· 최용석 (2021)	스마트기술 영역 및 정부지원 및 민간영역으로 2가지로 구분하여 기술 우선순위 도출	· IPA모형
김아영 (2020)	컨테이너 터미널의 게이트, 야드, 안벽, 정보 시스템별 우선 기술 도출	· AHP
이언경· 이수영 (2019)	해운연계, 안벽, 이송 영역 등 자동화 및 스마트화의 국내의 수준 측정·비교	· 전문가 설문 · 문헌조사

III. 연구방법 및 조사 설계

1. 연구방법

본 연구에서는 광양항 스마트항만 구축을 위한 스마트항만 기술 도입 우선순위를 도출하기 위해 AHP 분석을 활용하였다. AHP 분석은 의사결정 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 의사결정 방법이다(Saaty, 1990). 미국무부내에서 효율적인 의사결정이 이뤄지도록 고안되었으며, 최근 다양한 분야에서 정책 및 의사결정을 위해 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 광양항 자동화부두에의 스마트기술 도입 우선순위를 도출하기 위해 AHP 분석을 활용하였다.

한편, AHP는 스마트항만 기술 평가를 위한 속성별 가중치를 산정하는 것으로, 기술 도입 우선순위를 산정하기 위해서는 도입 대상 기술을 도출하고, 각 기술별 종합점수를 산정하는 과정이 필요하다. 이에 본 연구는 스마트항만 도입 대상 기술을 조사하고, 리커트 7점 척도를 활용, 전문가 설문을 통해 각 기술들의 속성별 평점을 조사하였다. 그리고 기

술별 속성별 평점과 AHP 분석 결과를 종합하여 기술별 종합점수를 도출하고 이를 바탕으로 기술 도입 우선순위를 산정하였다. 기술별 종합점수 산정 방법은 (수식 (1))과 같다.

$$\text{기술별 종합점수} = \sum(\text{속성별 가중치}) \times (\text{속성별 평점}) \quad (1)$$

2. 스마트항만 기술 Pool 도출

분석에 앞서 본 연구에서 정의한 스마트항만 개념을 바탕으로 국내·외 스마트항만 관련 R&D 및 기술투자, 기술도입현황 등 관련 선행연구를 분석하여 지속가능한 스마트 광양항 육성을 위해 선제적으로 도입·개발이 필요한 스마트항만 관련 첨단기술을 조사하였다. 먼저 해외 스마트항만 과제 관련 자료, 국내 항만물류분야 R&D과제 추진현황, 국외 항만물류분야 R&D 로드맵 등을 검토하여 국내·외 스마트항만 관련 기술개발·투자 및 도입 추진 중인 첨단 기술을 살펴보았다. 그리고 스마트 건설기술 관련 보고서, 미래항만·스마트항만 관련 로드맵 보고서 등을 검토하여 미래 스마트항만 육성을 위한 기술을 수집하였다. 검토한 문헌은 <표 3>과 같다.

표 3. 국내·외 문헌 분석

구분	연구(문헌명)	주요내용
국내	국내 항만물류분야 R&D과제	국내 수행중인 스마트항만 관련 R&D과제 검토
	스마트건설기술 개발사업 기획 최종보고서 (국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 2019)	건설산업의 디지털화 및 자동화를 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 성과 로드맵
국외	Maritime Singapore Decarbonisation blueprint (MPA Singapore, 2022)	전기화 및 지속가능 연료, 탄소중립 측정 등에 대한 5년, 10년 후 항만기술에 대해 제시
	Smart Port Development Policies inAsia and the Pacific (ESCAP, 2021)	AI, 로봇틱스, 자동화, 디지털트윈, 가상현실/증강현실 등 상위기술 및 상위 기술별 세부기술 제시
	Singapore R&D Roadmap 2030 (MPA Singapore, 2021)	안전 및 보안, 항만계획, 최적화, 스마트항만 장비 및 유지보수, 자동화 터미널운영 등 2030년 까지 개발 로드맵 수립
	The Maritime Commons: Digital Repository of the World Maritime University (Sun Xuyuan, 2021)	사물인터넷, 빅데이터, 클라우드, 블록체인, 자동화 등 기술키워드 제시
	Port of the Future Road Map 2030 (EU, 2020)	자율주행 선박, 화물 추적 및 상태 모니터링, 통합 물류환경, 블록체인 등 첨단 기술 제시

이러한 과정을 거쳐 BIM(Building Information Modeling, 이하 BIM), 디지털트윈, 고효율 에너지 장비, 친환경 연료 장비, 자동화 장비 연계운영 시스템, 자동화 장비 등 총 15개의 스마트향만 기술이 도출되었다. 한편, 도출된 기술들의 활용목적에 고려하면 ① 안전·관리, ② 친환경·에너지, ③ 자동화·최적화 세가지 키워드로 구분할 수 있다. 이에 본 연구는 15개 기술들을 상기 세 가지 키워드로 분류하였으며, 그 결과는 <표 4>과 같다.

<표 4> 스마트향만 기술 POOL 및 키워드 분류

기술명	키워드
<ul style="list-style-type: none"> · BIM(스마트공정관리, 유지보수 등) · 디지털트윈(향만 시설물 3D 모델링 등) · 자원상태 모니터링(시설물 컨테이너 등) · 스마트방재(자연재해, 인명사고 예측 등) · 향만 사이버 보안 시스템 · 향만 출입보안 시스템 	안전·관리
<ul style="list-style-type: none"> · 고효율 에너지장비 · 친환경연료장비(하역, 이송 등) · 대기환경관리시스템 · 에너지통합관리시스템(친환경, 전기 등) 	친환경·에너지
<ul style="list-style-type: none"> · 터미널 레이아웃 최적 설계 지원 시스템 · 자동화 장비 연계운영 시스템(자동화 터미널 등) · 자동화장비(하역, 이송 등) 	자동화·최적화

3. AHP 계층 설계

본 연구에서는 광양항 자동화부두에 적합한 스마트기술 도입 우선순위 산정을 위해 AHP 분석을 활용하고자 한다. 이에 먼저 AHP 계층 구조를 설정하였다. 본고에서는 ‘스마트 광양항 구축’을 위한 AHP 평가항목은 2개의 상위 평가항목(1계층)과 6개의 하

위 평가항목(2계층)으로 구성하였다. 1계층 상위 평가항목은 ‘기술 키워드’, ‘시급성’으로 설정하였다. 본 연구에서 구축한 AHP 항목 계층도는 <그림 1>과 같다.

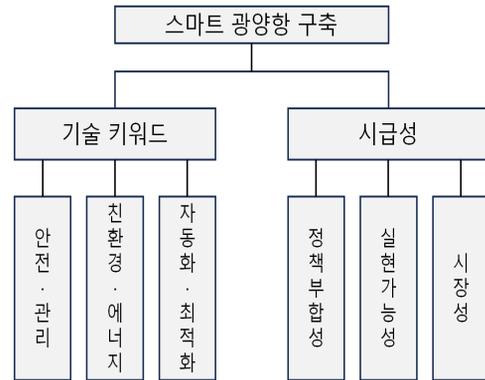


그림 1. AHP 항목 계층도

1계층 상위 평가항목인 ‘기술 키워드’는 광양항 자동화부두의 정책 방향성을 제시하기 위한 중요한 요인이다. 이에 본 연구에서는 기술키워드를 1계층 요인 중 하나로 선정하였다. 기술 키워드는 스마트향만 기술 검토를 통해 도출한 키워드인 ① 안전·관리, ② 친환경·에너지, ③ 자동화·최적화의 3가지로 구성된다. ‘시급성’은 광양항 자동화부두가 국내에서 선도적인 스마트향만을 구현하기 위해 우선적으로 도입되어야 하는 기술을 의미하는 대분류의 항목이다. 소분류인 정책부합성은 국가 및 PA 등 정책(기본계획, 국정과제, 정책기조 등)에 부합하는 기술을 의미하며, 실현가능성은 현재 기술개발이 용이하여 실현 가능하고, 자동화부두에 적용 가능성이 높은 기술, 시장성은 기술 관련 시장이 크고 높은 수요성을 요구하는 기술을 의미한다. 본 연구의 구체적인 AHP 소분류 항목별 정의는 <표 5>에 나타난 바와 같다.

표 5. AHP계층별 정의

1계층	2계층	정의
기술 키워드	안전·관리	항만의 안전 및 관리 측면에서 필요한 기술
	친환경·에너지	항만의 친환경화, 에너지 최적화와 관련된 기술
	자동화·최적화	항만의 자동화, 운영 최적화와 관련된 기술
시급성	정책부합성	국가 및 PA 등 정책(기본계획, 국정과제, 정책기조 등)에 부합하는 기술
	실현가능성	기술개발이 용이하여 실현 가능하고, 자동화부두에 적용 가능성이 높은 기술
	시장성	기술 관련 시장이 크고 높은 수요성을 요구하는 기술

4. 설문조사 방법 및 개요

본 연구에서는 본 연구에서 설정한 AHP 계층별 가중치 및 대상 기술별 속성별 평점을 조사하기 위해 스마트항만에 대한 이해도가 높은 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이를 위해 최근 스마트항만 관련 R&D 과제에 참여한 이력이 있는 관계 전문가에게 설문조사를 의뢰하였으며, 총 11인에게 응답을 받았다. 이 때 응답 중 일관성 지수(CI: Consistency Index) 및 일관성 비율(CR: Consistency Ratio)이 0.1 이상으로 나타난 경우, 재설문을 실시하여 CI, CR 모두 0.1 미만이 되도록 조정하였다. 구체적인 설문조사 개요는 <표 6>과 같다.

표 6. 설문조사 개요

구분	내용
조사 대상	· 스마트항만 관련 R&D 과제 참여중인 항만물류분야 전문가 16인
조사 기간	· 2023.01.19. ~ 2023.02.01.
조사 내용	· AHP 분석 · 15개 스마트항만 기술별 속성별 점수 · 기타 도입기술 제안 등
유효 설문	· 배포 대상: 16건 · 유효 건수: 11건(CI < 0.1, CR < 0.1)

최종 분석 대상인 11명 응답자의 업종 분포를 살펴보면, 연구소 45.5%, 대학 36.4%, 민간기업

18.2%에 종사하고 있는 것으로 나타났다. 응답자의 업종별 비중 및 비중은 아래 <표 7>과 같다.

표 7. 설문 응답자 업종

구분	응답수	비율(%)
연구소	5	45.5
대학	4	36.4
민간기업	2	18.2
합계	11	100

IV. 분석 결과

1. 계층별 가중치 산정결과

1계층 항목의 가중치 도출 결과를 보면 기술 키워드와 시급성 중 상대적 중요도는 기술키워드(0.588)가 시급성(0.412)보다 높은 것으로 나타났으며, 스마트항만 기술의 우선 순위를 도출할 때 응답자들은 기술적 요인을 더 중요하게 여긴다는 것을 알 수 있다. 기술키워드 중에서는 안전·관리(0.502), 자동화·최적화(0.369), 친환경·에너지(0.129) 순으로 중요도가 높게 나타났다. 안전·관리는 기술키워드 중 가장 중요한 요인으로 인식되고 있음을 확인할 수 있었고, 친환경·에너지는 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났으나, 시대적 흐름과 친환경정책 등을 고려하였을 때 간과할 수 없는 요소

이다. 시급성 중에서는 실현가능성(0.416), 시장성(0.312), 정책부합성(0.272) 순으로, 시급성 중 실현

가능성이 가장 높은 가중치를 확보하였다. 각 계층별 가중치 결과는 아래 <표 8>와 같다.

표 8. AHP 분석 결과 - 계층별 가중치

1계층	1계층 가중치	1계층 순위	2계층	2계층 가중치	2계층 순위
기술 키워드	0.588	1	안전·관리	0.502	1
			친환경·에너지	0.129	3
			자동화·최적화	0.369	2
시급성	0.412	2	정책부합성	0.272	3
			실현가능성	0.416	1
			시장성	0.312	2

2. 평가항목별 최종 가중치 산정 결과

최종 가중치 산정 결과 2계층의 안전·관리(0.295) 항목이 가장 높은 가중치를 나타냈으며, 다음으로 자동화·최적화(0.217), 실현가능성(0.171), 시장성(0.128), 정책부합성(0.112), 친환경·에너지(0.076) 등의 순으로 높게 나타났다. 분석 결과를 토대로, 전문가들은 광양항에 도입이 필요한 스마트항만 기술 중 안전·관리, 자동화·최적화와 관련된 기술의 중요도가 높다고 평가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 한편, 친환경·에너지는 가중치가 가장 낮은 것으로 나타났는데 최근 탄소중립과 관련된 다양한 스마트기술들이 개발되고 있지만, 스마트항만 기술 측면에서는 그 중요도가 상대적으로 낮게 인식되고 있는 것을 알 수 있다. 최종 요인별 가중치 산정 결과는 <표 9>과 같다.

표 9. AHP 분석 결과 - 최종 가중치

1계층	2계층	최종 가중치	순위
기술 키워드	안전·관리	0.295	1
	친환경·에너지	0.076	6
	자동화·최적화	0.217	2
시급성	정책부합성	0.112	5
	실현가능성	0.171	3
	시장성	0.128	4

3. 종합점수 산정 결과

광양항 자동화부두의 스마트기술 도입 우선순위를 최종적으로 산정하기 위해 AHP 분석을 통해 도출한 속성별 가중치와 기술 속성별 평가 점수를 활용하여 기술별 종합점수를 도출하였다. 이 때 기술별 속성별 평가 점수는 전체 응답의 평균값을 적용하였다. 최종 종합점수는 각 속성별 평가 점수와 가중치를 곱한 후 전체를 합산하여 산정한 것으로, 기술별 속성별 평가 점수 및 최종 종합점수는 <표 10>과 같다.

최종 분석 결과, 광양항 자동화부두에 가장 우선적으로 도입이 고려되어야 하는 스마트 기술은 자동화 장비 연계운영시스템(5.563)으로 나타났으며, 다음으로는 자동화장비-이송장비(5.383) 및 지원상태 모니터링·원격관리(시설물, 컨테이너 등)(5.256)으로 순으로 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 다음으로는 자동화장비-하역장비(5.251), 디지털트윈(항만·시설물 3D모델링 등)(5.048) 등의 순으로 나타났다. 고효율에너지장비(4.134)와 대기환경관리시스템(3.965)은 상대적으로 중요성에 대한 인식이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 분석 결과를 종합하면, 전문가 집단은 자동화·최적화 기술들을 스마트항만 구축을 위해 우선적으로 도입이 필요한 핵심기술로 인식하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 종합점수 기준,

친환경·에너지 분야와 관련된 기술들의 도입 우선 순위가 하위권에 분포하고 있는 것으로 나타났는데, 독일 함부르크항, 싱가포르 투아스항 등 해외 주요

항만들이 스마트항만 구축 전략으로 친환경 항만을 지향하고 있다는 점과는 차이가 있다.

표 10. 기술 속성별 평가 점수 및 가중치 반영 종합 평가 결과

구분	기술 속성별 평가 점수							속성별 가중치 반영	
	기술키워드			시급성				종합 점수	종합 순위
	안전·관리	친환경·에너지	자동화·최적화	정책 부합성	실현 가능성	시장성			
안전·관리	BIM (스마트공정관리, 유지보수 등)	5.273	2.818	5.091	4.545	5.273	4.636	4.860	8
	디지털트윈 (항만·시설물 3D모델링 등)	5.182	3.182	5.727	4.909	5.364	4.545	5.048	5
	자원상태 모니터링·원격관리 (시설물, 컨테이너 등)	5.000	2.909	5.818	5.000	5.818	5.636	5.256	3
	스마트방재 (자연재해, 인명사고 예측 등)	6.727	2.545	3.636	5.909	4.818	4.727	4.983	6
	항만 사이버보안 시스템	5.727	1.727	4.000	5.455	5.000	4.727	4.720	10
	항만 출입보안 시스템	5.455	1.909	3.818	5.364	6.000	4.818	4.806	9
친환경·에너지	고효율에너지장비	2.909	6.000	3.909	5.545	4.273	4.364	4.134	14
	친환경연료장비 - 하역장비	3.273	5.818	3.909	6.182	4.455	4.545	4.345	13
	친환경연료장비 - 이송장비	3.364	5.818	4.000	6.091	4.636	4.818	4.452	11
	대기환경관리시스템	3.636	5.091	2.818	5.545	4.636	3.636	3.965	15
	에너지통합관리시스템 (친환경, 전기 등)	3.182	6.000	4.364	5.909	4.818	4.000	4.387	12
자동화·최적화	터미널 레이아웃 최적 설계 지원시스템	4.545	3.091	5.909	5.000	5.455	4.455	4.929	7
	자동화 장비 연계운영시스템 (자동화 터미널 등)	5.273	3.545	6.364	5.818	5.364	6.000	5.563	1
	자동화장비 - 이송장비	4.545	3.182	6.273	5.727	5.818	5.909	5.383	2
	자동화장비 - 하역장비	4.545	3.091	6.364	5.727	5.545	5.273	5.251	4

주) 기술 속성별 평가 점수는 전체 평균값 적용

V. 결론 및 정책적 시사점

광양항 자동화부두 구축은 광양항을 넘어 국내 항만의 스마트화 및 디지털화를 촉진하고 국내 스마트항만 기술경쟁력을 확보할 수 있는 매우 중요한 사

업이다. 이에 본 연구에서는 AHP 분석을 활용하여, 광양항 자동화부두에 우선적으로 도입이 필요한 스마트항만 기술 순위를 도출하였다. 이를 위해 먼저 문헌 분석을 통해 선진형 스마트항만 기술 15가지를 도출하고, AHP 분석을 통해 기술속성별 가중치를 산정한 뒤, 설문조사를 통해 수집한 기술별 속성별 점

수와 AHP 분석 결과를 활용하여 최종 기술 도입 우선순위를 산정하였다.

AHP 분석 결과를 요약하면, 먼저 기술키워드, 시급성의 2개 요인으로 구성된 1계층에서는 기술키워드보다 더 중요한 요소로 도출되었다. 2계층에서는 기술키워드 중에서는 안전·관리 기술 분야가, 시급성 중에서는 실현가능성의 가중치가 가장 높았다. 종합적으로는 안전·관리, 자동화·최적화와 관련된 기술의 중요도가 높은 것으로 분석되었다.

한편, 기술별로 도출한 속성별 평가점수와 속성별 가중치 분석 결과를 활용하여 산정한 기술별 종합점수를 살펴보면, 자동화 장비 운영 연계시스템, 자동화 장비(이송), 자원상태 모니터링·원격관리, 자동화 장비(하역) 순으로 도입 우선순위가 높았다. 반면, 친환경 장비, 고효율 장비, 에너지통합관리시스템 대기환경 관리 시스템 등 친환경·에너지 관련 기술들은 대부분 하위권으로 나타났다.

연구결과는 광양항이 스마트항만으로 나아가기 위한 전략적 발전방향 설정에 대한 몇 가지 시사점을 제시하고 있다. 첫째, 광양항을 스마트항만으로 구축하기 위해 가장 핵심적인 기술은 장비 자동화와 관련된 기술들로, 자동화 장비의 선제적인 도입을 추진해야 한다. 둘째, 기술의 실현가능성이 중요한 요인으로 확인된 만큼, 국내 기술 기반 스마트항만 구축을 위해서는 스마트항만 기술 산업에 대한 적극적인 실증화 지원이 필요하다. 셋째, 스마트 항만 구축 측면에서 국내 전문가들의 친환경·에너지 기술 중요성에 대한 인식 수준은 높지 않은 편이다. 전 세계적으로 탄소중립이 화두로 떠오르면서 스마트기술 기반의 저탄소, 친환경 기술 개발에 대한 관심이 높아지고 있는 최근의 상황을 고려하여, 앞으로 스마트항만 연계 친환경·에너지 기술에 대한 관심도를 높이기 위한 노력이 필요하다.

광양항 자동화부두는 국내 자동화항만의 조속한 도입을 위한 정부의 정책적 목표 달성을 위하여 추진되는 중요한 사업이다. 이에, 여수항만공사 뿐만

아니라 해양수산부 등 정부의 각 이해관계자들의 전략적인 지원을 통하여 자동화부두 구축을 통한 국내 스마트항만 기술 경쟁력을 극대화할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다.

참고문헌

- 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2019), 스마트 건설 기술 개발사업 기획 최종보고서
- 김승철·최용석(2021), 광양항의 스마트항만 도입방안 연구: 광양항의 스마트항만 테스트베드를 중심으로
- 김근섭 외(2018), KMI 동향분석, Vol.74, 1-14.
- 김아영 외(2020), 컨테이너터미널의 4차 산업혁명 기술 적용방안에 관한 연구, 한국해운물류학회, Vol.36 No.4
- 류원형·남형식(2024), 국내 스마트 항만 도입 우선순위 도출 연구, 한국항만경제학회지 제40권 제1호, 31-59.
- 송현덕·장명희(2023), 항만 디지털 전환에 대한 수용태도와 수용성에 관한 연구, 한국항만경제학회, 제39권 제3호, 155-178.
- 이언경·이수영(2019), 4차 산업혁명시대 국내 스마트항만 수준 측정과 비교분석, 해운물류연구, 제35권 제2호, 323-348.
- 조현성(2022), 광양항 스마트기술 도입 우선순위 분석 연구, 한국해양대학교 석사학위 논문
- 최성희(2020), 스마트항만 도입에 대한 항만 운영자와 이용자 간의인식차이에 관한 실증연구- 광양항을 중심으로-, 한국항만경제학회, 제36권 제3호, 99-144.
- 한국해양수산개발원(2023), 물류 연계 효율화를 위한 스마트항만 구축방안 연구 - 항만물류 데이터 공유 플랫폼을 중심으로 -.
- 한국해양수산개발원(2021), 스마트항만 구축전략 수립연구.
- 해양수산부(2023), 우리 기업·기술로 글로벌 스마트항만 만든다, 2031년 국내 90%, 세계 10% 스마트항만 기술산업시장 점유 목표, 보도자료.
- 해양수산부(2019), 스마트 해운항만물류정책, 제2차 자율운항선박(MASS) 도입 기술정책 컨퍼런스.
- ESCAP(2021), smart port development Policies inAsia and the Pacific, 2021.2.

- EU(2020), Port of the Future Road Map 2030
- MPA Singapore(2022), Maritime Singapore Decarbonisation blueprint
- MPA Singapore(2022), Singapore R&D Roadmap 2030
- Sun Xuyuan(2021), The Maritime Commons: Digital Repository of the World Maritime University
- Deloitte Port Services(2017), "Smart Ports Point of View", Deloitte
- T. L. Saaty. (1980). The analytical hierarchy process, planning, priority. Resource allocation. RWS publications, USA.
- PortTechnology(2016), What is a Smart Port?
- PortTechnology(2018), SMART(ER) PORTS NEED ED

AHP분석을 활용한 스마트항만 기술 도입 우선순위 도출

- 광양항 자동화부두를 중심으로 -

한승훈 · 안승현 · 이해령

국문요약

본 연구는 광양항 자동화부두 도입되어야 하는 기술의 우선순위를 도출하였다. 최근 세계 선진 항만들은 전영역 완전 무인 자동화 항만 도입뿐만 아니라 디지털화·스마트화를 추진 중이다. 반면, 우리나라는 이제 초기 단계에 진입한 상황이다. 이에 따라 정부는 국내 스마트항만 촉진하고 기술경쟁력을 확보하기 위해 광양항에 완전 자동화부두 구축을 추진하고 있다. 이에 광양항 자동화부두는 국내 항만분야의 다양한 첨단기술을 검증하고, 더욱 고도화되는 기술들에 대응할 수 있는 선진형 인프라 구축이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 광양항의 스마트항만을 조작적으로 정의하였다. 다음으로 국내외 선행연구 분석을 통해 스마트항만 관련 첨단기술 Pool을 도출하고, 전문가 설문을 통해 먼저, AHP 분석을 활용하여 기술특성, 기술도입 시급성을 기반으로 기술 속성별 가중치를 산정하였다. 또한, 속성별 가중치와 각 기술별 중요도 점수를 종합하여 광양항 스마트항만 구축을 위한 스마트항만 기술 도입 우선순위를 도출하였다. 분석 결과, 자동화·최적화 관련 기술들이 우선순위가 높았고, 친환경·에너지 관련 기술은 대부분 하위로 나타났다.

주제어 : 광양항, 자동화부두, 스마트항만, 첨단기술, AHP