

자율운항선박 도입의 결정요인 분석

정수진* · 윤희성** · 김선태*** · 설진기****

Analysis of Determinants of the Introduction of Maritime Autonomous Surface Ships

Jung, Su-Jin · Yun, Hee-Sung · Kim, Sun-Tae · Seor, Jin-Ki

Abstract

With the advancement of Fourth Industrial Revolution technologies, the maritime sector is actively developing technologies and policies related to autonomous ships. This study aims to identify and prioritize various factors influencing the adoption of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) by conducting surveys among experts and professionals in the maritime industry. To achieve this, relevant factors related to the adoption of autonomous ships were examined through a review of previous research, and survey questions for pairwise comparison using the Analytic Hierarchy Process (AHP) were developed based on the insights of industry experts. The pairwise comparison items were categorized into four main factors at the highest level, with each factor further subdivided into sub-factors to establish their priorities. The survey results, which distinguish between shipowner and non-shipowner groups, reveal that, among the main factors—economic, legal and policy, safety and security, and technical—the shipowner group prioritized economic factors, though the difference from safety and security factors was relatively minor. In contrast, the non-shipowner group rated safety and security factors as the highest priority, with economic factors ranked lowest. Further analysis of the sub-factors across both groups indicated that, for economic factors, the increase in operational profit was most critical; for legal and policy factors, regulations related to structural equipment were paramount; for safety and security factors, the risk of equipment and machinery failure was key; and for technical factors, accident response technology was most significant. This study provides strategic insights for stakeholders by systematically analyzing decision factors for adopting MASS through AHP analysis. The findings enable companies to establish efficient resource allocation and investment strategies, while policymakers can utilize the results to guide policy and regulatory directions. Moreover, the study contributes to the existing body of knowledge by solidifying the framework of determinants for MASS adoption, incorporating commercial considerations alongside technical and legal factors. The results not only offer fundamental information for future research but also provide a rationale for informed decision-making in the shipbuilding and maritime industries regarding MASS adoption and operation.

Key words: Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), AHP, Perception Survey, Decision-Making Factors

▷ 논문접수: 2024. 08. 30. ▷ 심사완료: 2024. 09. 26. ▷ 게재확정: 2024. 09. 30.

* 한국해양수산연수원 교관, 제1저자, sjung@seaman.or.kr

** 한국해양대학교 해양금융대학원 교수, 교신저자, heesung@kmou.ac.kr

*** 한국해양수산연수원 교수, 공동저자, lovejs@seaman.or.kr

**** 한국해양수산연수원 교수, 공동저자, jkseor@seaman.or.kr

I. 서론

4차 산업혁명의 기술인 인공지능(artificial intelligence; AI), 사물인터넷 기술 등을 기반으로 최근에는 무인교통수단과 관련된 다양한 연구와 기술들이 부각되고 있다. 해운분야에서도 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ships; MASS)은 해상운송산업의 혁신을 대표하는 기술로써 자리매김하고 있다(이재영, 2019).

MASS는 AI와 센서기술, 통신기술 등을 활용하여 인간의 직접적인 조작 없이 독립적으로 운항할 수 있는 선박이다(Li & Yuen, 2023). 구체적으로, AI 기술은 MASS의 운영을 위한 핵심이며, 환경인식과 경로계획, 충돌회피, 상태모니터링 등을 수행한다. 그리고 위성 통신, 다양한 네트워크 등을 통해 선박과 육상관제센터 간의 데이터 전송 및 통신이 이루어지며, 이는 GPS, 통합항해시스템인 INS(integrated navigation system), 전자해도(ECDIS) 등에 의해 정확한 위치추적과 항로계획을 가능하게 하는 기술적 요소로 이루어진다. 이러한 기술의 통합은 MASS가 어려운 기상조건이나 혼잡한 해상구역에서도 주변 환경의 정확한 인식을 가능하게 한다. 그리고 고속위성통신을 통해 선박과 육상 기반 제어센터 간의 지속적인 데이터 교환을 보장하여 원격지에서 선박의 운항현황을 감독하고 필요할 때 개입이 가능하다. 또한 MASS는 해상운송의 운용능력과 환경지속가능성 및 효율성을 향상시킬 것으로 기대되는데, 이는 기존의 탄소 에너지원 대신 전기 등 혁신적인 친환경 추진시스템을 사용하여 기동성이 향상되고 소음과 탄소 배출이 줄어들기 때문이다(Fang et al., 2019).

MASS는 효율적 국제무역을 촉진하기 위한 운영비용 절감과 승무원비용 절감 및 연료절감을 통해 해운업의 지속가능성을 향상시키는데 기여하는 잠재력을 가지고 있는데 예를 들어, MASS의 도입을 통해 선원 수 감소로 인한 인건비절감과 함께 효율적인 항로계획을 통한 연료비절감을 실현할 수 있다. 그리

고 자율운항을 통해 선박의 운항 시간을 최적화하여 물류의 흐름을 개선할 수 있다(Lutz Kretschmann 외, 2017). 자동화된 시스템의 도입으로 인해 해운업의 노동구조가 변화할 수 있으며, 새로운 직업군과 일자리 창출이 예상된다. 예를 들어, 선박 자율운항 시스템 관리와 유지보수, 데이터분석 전문가 등의 수요가 증가할 것으로 예측할 수 있다. 이러한 조건 및 해운분야의 미래 신사업으로 평가되는 MASS의 시장성에 대하여 우리나라 정부는 자율운항선박의 시장 규모가 2015년 544억 달러(약 70조 원)에서 2030년에는 2,541억 달러(약 330조 원)에 달할 것으로 전망하고 있다(산업통상자원부, 2024).

MASS 도입과 관련된 최근의 문헌에서는 법적 체계 및 개선방안(이현균, 2023)과 안정성 평가(박준모, 2024), 인적요인 관련 영역에서의 인력양성(임성주, 신용준, 2022), 기술 및 시스템 개발(이광일, 2018)에 관한 연구의 사례가 관찰되고 있다. 이들 연구는 MASS의 성공적인 운영을 위해 수행되어 온 연구라는 측면에서 의의를 가진다고 평가할 수 있다. 그러나 MASS의 성공적인 도입과 지속가능한 운영을 보장하기 위해서는 경제적 편익 뿐만 아니라 다양한 성공 또는 장애요인을 고려하고 가이드라인을 마련하는 것이 필수적이다.

MASS의 도입은 해상운송의 효율성과 안전성, 환경적 지속 가능성을 향상시킬 것으로 기대하고 있지만, 이러한 긍정적인 전망들이 해운분야 산업 주체들도 함께 참여하여 적절하게 이루어졌는지는 명확하지 않다. 현재까지 MASS 관련 문헌들은 주로 MASS를 신성장의 발판으로 삼기 위한 조선분야를 중심으로 이루어졌다. MASS를 발주하고 운영하는 구매 주체인 선주사(선박투자회사 포함), 관리선사 및 해운유관기관들의 입장에서 MASS 도입에 대한 인식조사는 전무한 실정이다. MASS를 성공적으로 구현하기 위해서는 기술적 발전과 병행하여 MASS 구매 주체인 선주사나 운영주체인 선박관리회사 또는 해운관련 유관업·단체들의 의견이 정확히 파악되어야 한

다.

MASS를 도입하는 과정에서 경제적, 법적, 혹은 기술적 측면이 가지는 불확실성과 선박에서의 안전 및 위험이 고려되어야 한다. 경제적 측면에서는 초기 투자 비용에 대한 수익률 분석이 필요하며, 이는 MASS의 상용화를 위한 타당성을 평가하는 과정에서 반드시 고려해야 하는 중요한 요인이다. 이와 함께, MASS가 운항하는 도중에 사고가 발생하는 경우 책임 소재와 보험 적용 등에 대한 명확한 지침이 마련되어야 한다. 또한, MASS의 도입을 위해서는 예상되는 위험요소가 제거된 운항 안전에 대한 대책 확보가 필수적이며, 이를 위한 시스템의 신뢰성과 안정성이 포함된 기술적 요건이 충족되어야 한다. 이러한 관점에서 MASS에 관한 의사결정 과정에서 고려해야 하는 요인들을 선정하고, 이들 요인이 가지는 상대적 우선순위를 평가하는 것은 MASS 도입에 반드시 선행되어야 한다. MASS 도입에 관련된 이해관계자는 선사와 항만 운영자, 금융기관, 해양 보험사, 규제 기관, 기술 공급업체 등을 포함한다.

MASS의 성공적인 도입을 위해서는 해운산업 주체들이 MASS의 경제성 뿐만 아니라 법·규정, 안전성 및 기술적 측면에서 이점과 문제점들을 검토하고 도입 및 운항여부를 결정하여야 하므로, 이들의 의견을 종합적으로 반영하여 해운산업의 이해관계자가 우선시하는 각 요인들을 체계적으로 분석할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 MASS 도입 시 의사결정에 필요한 각 요인들을 체계적으로 평가하고 분석하여 우선순위를 식별하고 선주사 등 해운관련 의사결정 주체에게 제공하여 MASS 도입 및 운영 여부와 관련된 의사결정을 지원하는데 있다.

본 연구는 AHP(analytical hierarchy process)기법을 활용하여 해운분야 종사자들을 대상으로 한 설문 의 형태로 진행한다. 설문 의 주요 대상자 중 선주그룹은 비용 절감과 수익 증대를 통해 기업의 재무성과와 경쟁력을 극대화하려는 목표를 가지고 있으며, 신조선 도입에 전략적 의사결정을 할 수 있는 사람

들로 정의하며, 선주회사 대표 및 선주회사의 부장급 이상 근무자가 이에 해당한다. 비선주그룹은 해운분야 기술적 전문가나 학자, 법·제도에 따른 안전관리 담당자 및 산업현장에서 선박 운영과 관리를 담당하는 자들로 이들은 안전관리 정책, 일상적인 운영 및 기술적 관리 역할을 담당한다. 비선주그룹에는 선박관리회사 근무자, 해기사, 선박안전관련 역할을 수행하는 공무원 및 학자 등이 포함된다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 MASS를 도입하는 과정에서 고려해야 하는 경제적 요인과 법제도 및 정책 요인, 안전 및 보안 요인, 그리고 기술적 요인을 포함하는 4가지 요인에 대한 상대적 중요도를 평가하고 이들 각 요인들의 소분류 요인에 대한 우선순위도 평가한다.

II. MASS의 추진동향 및 선행연구

1. MASS 정의 및 중요성

MASS란 자율단계에 따라 선원, 원격운항자 등 사람의 개입이 전혀 없거나 최소한의 개입하에 자율운항시스템에 의하여 스스로 운항이 가능한 선박을 의미하며, IMO에서는 인간의 상호작용 없이 다양한 수준으로 독립적 운항을 할 수 있는 선박으로 정의하고 있다(IMO, 2018).

MASS는 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, IOT 센서 등 모든 디지털 핵심기술을 융합해 선원 없이 스스로 최적항로를 설정하고 항해할 수 있는 차세대 고부가가치 산업이며, 특히 세계 최대수준의 조선업을 보유한 우리나라에서는 한국판 뉴딜정책 중 해운분야의 디지털 뉴딜 핵심사업이 될 것으로 전망된다.

세계 최고수준의 선박건조기술과 정보통신기술을 가진 우리나라에서 국제규제 및 표준화를 선도한다면 신조선 시정을 선점할 수 있다. 또한, MASS는 해운경쟁력 확보에 따른 높은 경제적 효과, 다양한 연

관산업의 육성을 통한 일자리창출, 지역경제 활성화 등으로 국가경제 차원에서 중요성이 증대되고 있다. 우리나라에서는 MASS 관련 기술개발(R&D)을 주요 사업목표로 설정하여 5가지의 핵심과제를 추진 중이며, 1등급 수준의 MASS 등급을 2.5등급까지 발전시킬 수 있도록 하여 2030년 MASS 시장점유율 50%를 달성할 계획이다(대한민국 정부, 2021).

기술개발과 함께 MASS와 관련된 다양한 연구활동 및 노력은 조선·해운분야의 신성장 동력으로 이어져 향후 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

2. IMO의 MASS 추진 동향

국제해사기구(IMO)에서는 해양산업의 기술혁신으로 인하여 원격제어 또는 완전자율운항선박(MASS)

이 운항되는 환경이 매우 빠르게 구축되고 있고 이러한 새로운 운항형태의 선박 출현으로 선박과 화물의 안전에 관한 강력한 규제가 필요하게 됨을 인식하였다(IMO, 2023).

2017년 MSC 98차회의에서 최초로 자율운항선박 문제를 의제에 포함시키기로 결정하였으며, 2018년 MSC 99차회의에서 MASS에 대하여 자율적 운항에 따른 자율화 단계에 따라서 4단계의 등급으로 분류하였고, 99차와 100차회의에서는 범위지정연습(RSE, the regulatory scoping exercise)의 목적으로 [표 1]과 같이 자율성 정도가 승인, 확정되었다. MASS 1단계는 의사결정 지원, 2단계는 최소 인원과 원격제어, 3단계는 무인 원격제어이며, 4단계는 완전자율운항으로 분류되었다.

표 1. MASS의 자율 수준과 정의

수준	정의
1	자동화된 프로세스 및 의사결정 지원을 갖춘 선박: 선원은 선박 시스템 및 기능을 운영하고 제어하기 위해 탑승하며, 일부 작업은 자동화될 수 있음
2	선원이 탑승한 원격조종 선박: 선박이 원격지에서 제어 및 작동되지만 최소한 선원은 탑승
3	선원이 탑승하지 않은 원격조종 선박: 선박이 원격지에서 제어 및 작동되며, 선원은 탑승하지 않음
4	완전자율운항선박: 선박의 운영체계가 스스로 의사결정하며, 행동을 정할 수 있음

자료: IMO, MSC 99/WP.9

그리고 2021년 MSC 103차회의에서 RSE가 최종 확정되었으며, 2023년 MSC 107차회의에서 MASS 운영의 규제를 위한 목표기반 도구인 MASS Code의 개발 및 이를 위한 실무그룹(working group)이 설립되었다(IMO, 2023). IMO MSC 108차회의에서는 목표기반 MASS Code의 개발을 위한 로드맵을 2025년 MSC 110차회의에서 비강제 MASS Code의 개발완료 및 채택, 2026년부터 경험축적기간(experience-building phase) 운용, 2028년부터 강제 MASS Code 개발 개시, 2032년 1월 1일 발효를 목표로 2030년 7월 1일 전 강제 MASS Code

채택으로 잠정 합의하였다(IMO, 2024).

3. MASS관련 선행연구

MASS의 선행연구는 경제성 분석연구, 법제도 및 정책연구, 안전 및 보안 연구 및 기술관련 연구가 있다.

현존선과 MASS 도입 시 비용 및 편익 분석을 통하여 MASS의 경제성을 분석하는 연구가 이루어지고 있다(Lutz Kretschmann et.al, 2017; Abeera Akbar et.al, 2021; Ewelina Ziajka Pozna'nska et.al, 2021).

미래에 경쟁력 있고 지속 가능한 해운 산업의 핵심 요소로서 MASS의 성공이 해운회사의 수익성과 직접적인 연관을 가지고 있다는 것을 검증하기 위하여 MASS와 현존선박의 경제성을 최초로 비교한 연구가 있었으며(LutzKretschmann 등, 2017), 유럽, 노르웨이 항로를 운항하는 MASS의 경제성 및 운송 네트워크를 분석하고 항로, 현금흐름 등을 기반으로 경제성 모델을 제시하여, MASS의 추가 건조비용(CAPEX)이 현존선가 보다 118.8%를 초과하면 경제성 없다는 결론을 도출한 관련연구도 존재한다(Abeera Akbar 등, 2021). MASS의 경제성 선행연구 내용을 토대로 분석하여, MASS의 편익을 위해 The fleet of autonomous daughter ships 개념을 적용하였고, 선원비 절감만으로는 MASS의 성공요인으로는 미흡한 부분이 있어 친환경 연료효율을 포함하고 군집항해 등으로 경제성을 확보해야 하며 뿐만 아니라 비상시 비용, 사이버보안 문제 등 다양한 불확실성에 대한 한계사항을 명확하게 인식하고 MASS의 경제성에 대한 심층 모델 개발의 필요성을 주장하는 연구도 있었다(Ewelina Ziajka Pozna'nska et al, 2021).

국외에서는 비용 및 운임을 고려한 다양한 경제성 분석이 진행되었으나, 국내에는 경제성 분석에 대한 연구는 전무한 실정이다. 해외의 연구도 MASS 도입을 위한 세밀한 추가비용, 사고 시 접근시간이나 사이버 보안사고 등과 관련된 위험 등이 포함되지 않은 채 분석이 시행되어 다양한 비용과 문제점 등을 포괄적으로 다룰 수 있는 MASS 경제성 및 도입 타당성 분석 연구가 필요하다.

법제도 및 정책연구는 주로 새로운 선박의 출현에 대한 안전성과 이를 운행할 수 있는 원격운항자에 대한 법적 지위에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(박정현, 2019; 김대규, 2021). 자율운항선박(MASS) 법률제정에 따른 난제를 식별하고 '육상관리자'라는 새로운 개념의 의미와 '자율운항선박의 선박감항성'이라는 두 가지로 요인을 정리하여, 자율주행 자동차의 국제협약 개정과 각국의 법률제정 사항을

살펴보고 MASS에서 국제협약과 충돌하는 부분을 살펴본 후 법률 개정안을 제시하였다(박정현, 2019).

자율운항선박 운항에 관련된 기술적, 법률적 정비가 필요하며, 무인 MASS 이전 단계인 선박에 선원(선장)이 승선하고, 육상의 원격운항자가 제어하고 있는 상태에서 사고가 발생하였을 경우 책임소재에 관하여 논의하였다(김대규, 2021).

법·규정 관련 주요 주제는 사고발생에 따른 책임, 원격운항자의 법적지위 및 해상보험 등이며, 정책분야는 자율운항선박의 안정적인 도입을 위한 지원정책(자율운항선박 도입 촉진법 등)이 주요 내용으로 나타났다.

안전 및 보안 분야에서는 인적 요인에 더하여 사이버 보안기술에 대한 연구가 이루어지고 있다(Krzysztof Wrobel 등, 2021; 유지운 등, 2022). 원격 조종 선박의 안전에 대한 잠재적 영향은 원격운항자의 정신적, 생리적 안정상태 유지에 있고 안전에 가장 핵심 요소이며, 운항자의 행동(역할)이 사고 발생에 대한 최종적이고 가장 중요한 역할을 한다고 주장하였다(Krzysztof Wrobel 등, 2021). MASS의 안전성을 위해서는 선박 시스템의 사이버 보안뿐만 아니라, 인공지능 기술에 대한 사이버 보안에도 초점을 맞춰야 하며, MASS의 인공지능 기술에 발생할 수 있는 잠재적인 사이버 위협을 분석하였다(유지운 등, 2022).

MASS 선박에 승선하는 운항자보다는 주로 원격운항자(remote operator)를 대상으로 하는 인적요인 연구가 있으며, 사이버 보안은 향후 발달된 인공지능 기술보다 더 높은 위험 관리수준으로 보안기술이 진보되어야 안정적인 MASS 운항이 가능하기에 더욱 활발한 연구 및 기술개발이 필요할 것이다.

MASS 기술 연구분야는 매우 활발하게 연구가 이루어지고 있으며, 주로 안전운항 및 관리기술이 주류를 이루고 있다(이영규, 2019; 김대정, 2023; 최혜진 외, 2024). 자율운항 구현을 위한 안전운항 회피기술 및 최적의 항로를 선정하는 경제운항 그리고 자동

유지보수 등 기술 개발과 사이버 안전시스템 구축(선박데이터 암호화)에 필요한 다중 센서 정보를 활용한 선외 위험물 탐지기술 개발에 필요한 연구를 시행하였다(이영규, 2019). 항로추종 관련 MASS설계 시 항로추종 성능의 시각적 및 정량적 평가기법을 개발하고 항로추종 성능 평가에 관한 시각적 및 정량적 평가와 관련한 기술 연구도 시행되었다(김대정, 2023). 또한 추진 축거동의 상시 모니터링 시스템 구축을 통하여 자율운항선박의 운전 시 관리자가 안정성을 판단할 수 있는 데이터 연구도 시행되었다(최혜진 외, 2024).

MASS의 안정적인 운영은 기술적 완성도를 기반으로 수행될 수 있으며, 주로 MASS의 충돌회피 설계 등과 관련된 기술개발, 항로 안전성과 선박 자동 모니터링 및 제어기술 등의 분야를 중심으로 발전되고 있다.

그러나 MASS 각 분야별로 개별적인 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 이들 분야 간 종합적인 통합연구사례는 식별되지 않았다. 본 연구는 MASS와 관련된 다양한 분야별 이슈들에 대하여 포괄적 시각으로 접근하고 각 분야별 상호관계와 우선순위를 다루는데 의의가 있으며, MASS 도입의 결정권한을 가진 선주사와 MASS의 안전운항에 직접 관여하는 선박관리회사를 포함하는 다양한 해운분야 산업계의 관점에서 MASS의 도입과 운영에 관련된 연구가 보다 활발하게 이루어지는 초석이 될 것이다.

III. 연구방법

1. MASS 도입 결정요인 도출

MASS 도입을 위한 의사결정 요인 우선순위의 선정을 위한 실증분석을 위해 MASS에 관한 국내외 선행 연구내용과 전문가 의견을 반영하여 대분류 평가요인을 도출하였다.

국내 해운기업의 선박 도입과 관련된 의사결정 요인에서도 해운시황과 함께 신조선 선가와 수익성 등이 높은 우선순위에 있어 경제성이 매우 중요한 요인으로 판단된다.(김성범 외, 2013) 따라서 본 연구는 MASS 선행연구를 바탕으로 MASS 도입 과정에서 고려해야 할 대분류의 첫 번째 요인으로 '경제성 요인'을 선정하였으며, '법제도 및 정책 요인', '안전 및 보안 요인', 그리고 '기술적 요인'을 포함하는 4개의 대분류 요인을 도출하였다.

대분류 요인에 따른 하위 평가요인은 정책담당 공공기관 전문가, 연구기관 및 선박운항 관련 교육 분야에서 10년 이상 종사하고 있는 전문가 10명을 선정하여 델파이(delphi) 기법으로 선정하였다. 집단의 사결정방법 중 델파이 기법은 전문가들의 의견을 취합하여 정리하고 그 결과를 피드백시켜 합의가 이루어질 때까지 서로의 의견을 조율하는 기법이다(Crawford & Waright, 2016).

델파이 설문항목을 작성하기 위하여 첫 번째 과정에서 개방형 질문을 채택하여 다양한 요인을 식별하였고 이중 중복으로 선택된 요인들을 선별하여 두 번째 과정에서 리커트 5점 척도로 설문하여 내용타당도를 검증하였으며, 총 10명의 전문가 집단으로 CVR 값이 0.62 이상일 때 내용타당도가 있는 것으로 판단하고 내용타당도가 있는 0.62 이상의 요인들을 최종 설문 항목으로 선정하였다.

2. MASS 도입 결정요인 계층구조

'경제성 요인'은 MASS 도입 및 운영에 따른 경제적 비용과 이익을 종합적으로 평가하는 요소이다. 경제성 요인으로부터 4개의 소분류 요인을 도출하였는데, 이는 '선원관련 비용 절감' '운항 이익 증가', '건조비용', 그리고 '관리 운영비 증가'이다. '선원관련 비용절감'은 무인화로 인한 선원인건비와 주부식비 또는 선원 교대비 등 선원과 관련된 제반 비용의 절감을 의미한다. '운항이익 증가'는 구조 혁신, 거주구(superstructure) 제거에 따른 하중 감소, 이로 인한

화물 선적량 증가와 선체저항 감소에 따른 연료비용 절감 등으로 발생하는 각종 운항상 이익이다. 그리고 ‘건조비용’은 거주시설 및 각종 호텔 시스템의 제거로 인한 건조비용(감소요인), 설비의 이중화, 자율항해 및 자율관리설비 추가, 사이버보안 설비 및 센서 등의 추가 건조비용(증가요인)을 뜻한다. ‘운영비 증가’는 선박 이외의 장소에서 무인선박의 운항에 직·간접적으로 관여하는 다양한 시설들과 관련된 비용으로 선사의 선박 모니터링 센터, 선박 원격운항센터, 육상인력지원(접·이안, 하역작업, 정비작업 등) 센터 등의 구축 및 운용비용 증가를 뜻한다.

‘법제도 및 정책 요인’은 MASS의 도입과 운영을 규율하는 법적, 제도적, 정책적 프레임워크를 의미한다. 이는 MASS의 합법적이고 안전한 운항을 보장하는 데 필수적으로 고려해야 하는 요인이다. 법제도 및 정책 요인은 3개의 소분류 요인을 포함하는데, 이는 ‘운항교통 통제 관련 법규’와 ‘구조 및 설비 관련 법규’, 그리고 ‘법적 책임 관련 법규’이다. 전통적인 항법은 승선한 선원의 시각에 따른 선박 상호간의 책임한계가 중심을 이루었다. 그러나 선원이 승선하지 않는 MASS의 경우 육안 정보가 아닌 디지털 정보로 항법이 적용되는 문제를 고려해야 한다. 따라서 이와 관련된 항법의 재정립이 필요하며, 원격운항자와 현존선 항해사, 원격운항자와 원격운항자, 원격운항자와 교통관제센터 사이의 항법적용 시 발생할 수 있는 상황을 고려한 ‘운항교통 통제 관련 법규’를 소분류 요인으로 도출하였다. 이와 함께, 운항효율을 위한 혁신적인 선체구조는 필수적이며, 이에 따른 무인 자율운행선박의 건조 시 필요한 구조 및 설비 등과 관련된 법규정의 명확한 정립의 필요성을 고려하여 ‘구조 및 설비 관련 법규’를 소분류 요인으로 도출하였다. 또한, MASS 건조자와 탑재된 소프트웨어 개발자, 원격운항자(선장), 선주 등의 법적지위 문제 및 사고 또는 문제점 발생 시 각종 민·형사상 책임소재 등과 관련된 법규를 고려하여 ‘법적 책임 관련 법규’라는 소분류 요인을 도출하였다.

‘안전 및 보안 요인’은 MASS 운항 중에서 발생할 수 있는 사고를 예방하고, 인명과 재산의 손실을 최소화하며, 외부로부터 의도적인 공격이나 위협으로부터 선박과 시스템을 보호하기 위해 고려해야 하는 요인을 의미한다. 본 연구는 ‘해양사고 발생 증가 혹은 감소에 관한 사항’, ‘기기·장비·설비의 손상 및 고장 등에 관한 사항’, 그리고 ‘통신사고 관련 사항(통신 단절, 사이버 해킹 등)’을 포함하는 3개의 요인을 소분류 요인으로 도출하였다. ‘해양사고 발생 증가 혹은 감소에 관한 사항’은 현존선과 비교될 수 있는 증대한 해양사고 발생 및 감소를 뜻한다. 감소 요인에는 무인 운항으로 인한 인적 요인 관련 사고의 감소 등이 포함되어 있으며, 증가 요인에는 실시간 정보가 아닌 디지털화된 정보의 활용에 있어 원격운항자의 관독 오류 등으로 발생하는 사고의 증가 등을 포함하고 있다. ‘기기·장비·설비의 손상 및 고장 등에 관한 사항’은 물리적 손상(예, 연료유나 윤활유 배관 손상), 각종 기기적 오류나 오작동 등으로 인한 중요 기기 기동정지 등 선박의 운항정지를 초래할 수 있는 각종 손상 및 고장 그리고 대응불가 사고를 뜻한다. ‘통신사고 관련 사항’은 원격운항에 따른 사이버 해킹 및 이로 인한 하이재킹 사고 또는 통신의 단절로 인한 선박통제불가 사고를 의미한다.

‘기술적 요인’은 MASS의 건조와 운영 및 정비에 요구되는 필수적인 기술적 요소이다. 본 연구는 ‘건조기술’, ‘고장 시 대응 및 정비기술’, ‘사고대응기술’, ‘항만 및 하역 연계 기술’을 포함하는 4개의 소분류 요인을 도출하였다. ‘건조기술’은 통신기술을 포함하여 자율항해, 자율기기관리 및 원격운항에 필요한 제반기술 등과 관련된 기술 성숙도를 의미하며, ‘고장 시 대응 및 정비기술’은 물리적 손상 또는 고장 발생 시 자율 또는 원격으로 수리를 할 수 있는 기술을 뜻한다. 그리고, ‘사고 대응 기술’은 화재, 기름유출 등 각종 해양사고의 발생을 예방하거나 사고발생 시 사고의 확산을 방지할 수 있는 기술 성숙도를 의미한다. ‘항만 및 하역 연계 기술’은 무인 또는 원격 접·

이안 등 자율운항선박과 연계된 각종 적·양하 자동화 기술로써 선박운항과 연계되는 항만·하역 기술을 의미한다.

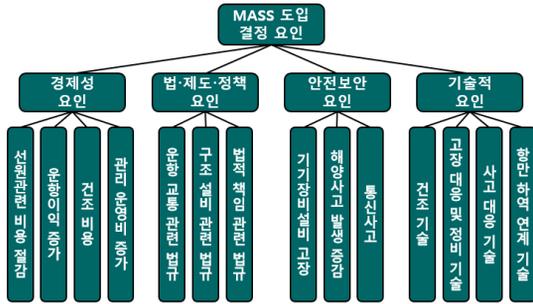


그림 1. MASS 도입 결정 요인 계층도

3. AHP 설문조사

1) AHP 비교 평가

다기준 의사결정(multi-criteria decision making; MCDM)은 여러 가지 상충되는 기준과 서로 다른 선호도를 가지는 의사결정자로 인해 발생하는 복잡한 의사결정 문제를 해결하기 위한 프레임워크이다(Gál et al., 1999).

AHP는 지속적 의사결정의 특징을 가지는 다목적 의사결정 모델(MODM, multi-objective decision making) 중의 하나로서(Saaty, 1980), 수학과 심리학을 기반으로 복잡한 의사결정 문제를 구성하고 해결하기 위한 구조화된 기술이다. 그리고 계층구조 내의 각 구조적 의사결정 요소를 수량화하기 위한 포괄적이고 논리적인 프레임워크를 제공한다. AHP는 평가 기준을 선택하는 것부터 시작되며, 선택한 기준에 따라 대안이 평가된다. 그리고 선택 기준 간의 쌍대비교를 사용하며 상호 조건, 동질성, 종속성 및 기대의 원칙에 따라 각 기준의 우선 순위를 정하게 된다. AHP가 가지는 주요 장점에 대해서 Saaty(1980)는 문제 해결을 위한 모델의 통일성, 복잡한 문제 해결을 위한 분석적이고 체계적인 접근방식, 평가기준의 상

호 의존성을 다루는 문제 해결 능력, 의사결정 시 계층구조의 준수 등을 강조하였다. 무형적이고 정성적인 사례의 설계와 측정, 우선순위의 일관성 검토, 대안에 대한 종합적인 선호도, 판단 및 합의의 절충, 그리고 반복을 통한 개선 가능성을 제시할 수 있다는 점이 AHP 활용의 강점이기도 하다.

따라서 본 연구에서는 MASS 도입 시 대분류 요인 및 소분류 요인들 상호 간에 상대적으로 중요하게 고려하여야 하는 요인들을 평가하기 위하여 AHP 쌍대비교 설문조사를 활용하여 검증한다.

또한 상기 언급한 MASS 도입과 관련된 네 가지 요인에 대하여 그 중요도는 해운산업 주체별로 다양한 관점에서 접근될 것이다. MASS를 직접적으로 소유하고 재무성과를 위하여 경영활동을 하는 선주그룹 입장에서 도입 요인의 중요성에 대한 인식과 MASS를 직접 소유하지는 않으나 MASS 운항과 관리 등에 직접적인 역할을 하는 비선주그룹과의 도입 요인의 중요도에 대한 인식수준의 차이도 살펴보고자 한다.

AHP 분석을 통해 다양한 위험 요소를 체계적으로 평가하고, 이에 대한 대응 방안을 마련함으로써, MASS 도입 과정에서 발생할 수 있는 리스크를 최소화할 수 있다. 예를 들어서, 선주그룹의 신조선 도입 의사결정은 기업의 장기적인 전략과 목표를 설정하는 데 핵심 역할을 수행한다. AHP 분석을 통해 선주그룹의 우선순위를 파악함으로써, 안정적 수익창출을 위한 기업의 전략적 목표에 부합하는 최선의 결정을 내릴 수 있다. 또한, 비선주그룹은 실무적 관점과 기술적 전문성이 반영된 실현 가능하고 효과적인 MASS 운영전략을 수립할 수 있다. MASS 도입은 기술적, 법적, 사회적 도전과제를 동반하며 비선주그룹은 규제 요구사항과 현장 실무에 대한 깊은 이해를 가지고 있기에 이를 AHP 분석에 반영함으로써 정책 및 규제 대응에 관한 의사결정을 수행하는 데 본 연구의 결과가 주요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 여겨진다.

2) 설문조사 수집방법

2024년 5월20일부터 2024년 6월 21일까지 AHP 쌍대비교를 위한 설문지를 120명의 대상자에게 배포하였다. 불성실한 응답이라고 판단되는 자료와 비응답자를 제외한 총 113명(선주그룹:29명, 비선주그룹:84명)의 자료를 최종분석에 사용하였다. 설문조사를 통한 최종 회수율(yield rate)은 94.2%이다.

3) 조사대상자

본 연구의 실증분석에서 조사대상자는 선주사 대표 및 선주사 근무자(선주그룹, 30명), 선주사 외 해운관련자(비선주그룹, 90명)를 대상으로 하였다. 선주그룹으로 구분한 선주회사는 직간접적으로 선박을 소유하여 실질적인 선박경영을 하는 회사의 대표 및 부장급 이상의 간부직 직원으로 구성하였으며, 선박관리를 위한 선주 대행회사는 포함되지 않았다. 비선주그룹에 포함되는 집단은 해운산업 업·단체 중 선박을 실질적으로 소유하지 않으나 선박의 운영과 관리업무를 수행하는 선박관리회사 또는 관리회사의 종사자, 해양수산부 소속의 기술직공무원, 산하 공공기관 및 연구기관 그리고 현직 해기사 또는 해기사 출신으로 해기교육을 담당하는 사람 등으로 구성하였다.

본 연구의 설문조사에 참여한 조사 대상자의 인구통계적 특성은 다음과 같다. 대상자 중에서 남성과 여성이 차지하는 비율은 각각 94%와 6%이다. 그리고 선주그룹 또는 비선주그룹에 소속된 대상자는 각각 26% 및 74%이다. 전체 대상자의 평균 연령은 45.4세이며, 대상자 중에서 88%의 최종학력은 대학교 졸업인 것으로 나타났다. 승선경력이 있다고 응답한 대상자의 비율은 전체의 70%이다.

육상 직급의 경우 부장급 비율이 전체의 42%이고 임원 이상은 23%로 나타났다. 승선경력이 있는 해기사의 경우 최종직급(현직 해기사의 경우 현재 직급)은 1항기사 이상이 전체의 54%, 2항기사 이하가 46%이며, 대상자의 해운분야 평균 근무년수는 20년

이다.

표 2. 응답자 구성

	구분	중요도	
		인원	비율(%)
소속	경영	29	25.7
	비경영	84	74.3
성별	남성	106	93.8
	여성	7	6.2
평균연령	45.4세	-	-
학력	고졸	1	0.9
	전문대졸	5	4.4
	대학졸	99	87.6
	석사	7	6.2
	박사	1	0.9
승선경력	유	79	69.9
	무	34	30.01
육상직급 (현직 해기사 제외, 총 92명)	시원대리	7	7.6
	과장차장	21	22.8
	부장	39	42.4
	임원사장	21	22.8
직급 (현직 또는 최종 해기사경력, 총 79명)	기타	4	4.3
	선기장	15	19.0
	1항기사	28	35.4
	2항기사	36	45.6
평균근무년수	20.0년	-	-

IV. MASS 도입 결정요인 분석

1. MASS 도입 결정요인 평가

1) 대분류 요인 중요도 평가

[표 3]은 ‘경제성 요인’과 ‘법제도 및 정책 요인’, ‘안전보안 요인’, ‘기술적 요인’을 포함하는 4개의 대분류 요인에 대해 전체집단과 선주그룹, 그리고 비선주그룹별로 계산된 상대적 중요도를 나타내고 있다. 4개의 대분류 요인에 대해 계산된 각각의 일관성 비

을 값은 모두 최소만족 기준인 0.1 이하를 충족시키는 것으로 나타났다. 전체집단으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도 크기를 관찰한 결과, '안전보안 요인'(0.44)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '기술적 요인'(0.27)과 '경제성 요인'(0.16), '법제도 및 정책 요인'(0.14)의 순서로 중요도가 계산되었다. 그러나 선주그룹으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '경제성 요인'(0.38)이 가장 큰 값을 가지며, '안전보안 요인'(0.33), '기술적 요인'(0.16), 그리고 '법제도 및 정책 요인'(0.13)의 순서로 중요도가 평가되었다. 비선주그룹이 평가한 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '안전보안 요인'(0.48)이 가장 큰 값을 가지며, '기술적 요인'(0.30), '법제도 및 정책 요인'(0.13), 그리고 '경제성 요인'(0.10)의 순서로 파악되었다.

표 3. 대분류 요인의 중요도 및 일관성 비율 평가 결과

대분류 요인	중요도		
	전체	선주 그룹	비선주 그룹
경제성 요인	0.16	0.38	0.10
법제도 및 정책 요인	0.14	0.13	0.13
안전보안 요인	0.44	0.33	0.48
기술적 요인	0.27	0.16	0.30
일관성 비율(C.R.)	0.00	0.01	0.00

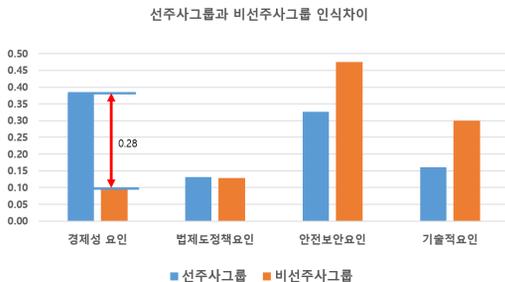


그림 2. 선주그룹과 비선주그룹의 MASS 도입 의사결정 중요도 인식차이

2) 항목별 소분류 요인 중요도 평가

(1) 경제성 요인 중요도 평가

[표 4]는 '경제성 요인'의 소분류 요인인 '선원관련비용절감', '운항이익증가', '건조비용', '관리운영비증가'를 포함하는 4개의 소분류 요인에 대해 전체집단과 선주그룹, 그리고 비선주그룹별로 계산된 상대적 중요도를 나타내고 있다. 4개의 경제성 요인의 소분류 요인에 대해 계산된 각각의 일관성 비율 값은 모두 최소만족 기준인 0.1 이하를 충족시키는 것으로 나타났다. 전체집단으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도 크기를 관찰한 결과, '운항이익증가 요인'(0.35)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '건조비용 요인'(0.31)과 '운항관리비증가 요인'(0.21), '선원관련비용절감 요인'(0.14)의 순서로 중요도가 분석되었다.

선주그룹으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '건조비용 요인'(0.43)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '운항이익증가 요인'(0.33)과 '운항관리비증가 요인'(0.13), '선원관련비용절감 요인'(0.11)의 순서로 중요도가 평가되었다.

비선주그룹이 평가한 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '운항이익증가 요인'(0.35)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '건조비용 요인'(0.27)과 '운항관리비증가 요인'(0.23), '선원관련비용절감 요인'(0.15)의 순서로 중요도가 평가되었다.

표 4. 경제성 요인의 소분류 요인 중요도 및 일관성 비율 평가 결과

경제성 요인	중요도		
	전체	선주 그룹	비선주 그룹
선원관련비용절감	0.14	0.11	0.15
운항이익증가	0.35	0.33	0.35
건조비용	0.31	0.43	0.27
관리운영비증가	0.21	0.13	0.23
일관성 비율(C.R.)	0.00	0.01	0.00

(2) 법제도 및 정책 요인 중요도 평가

[표 5]는 ‘법제도 및 정책 요인’의 소분류 요인인 ‘운항교통관련법규’, ‘구조설비관련법규’, ‘법적책임’을 포함하는 3개의 소분류 요인에 대해 전체집단과 선주그룹, 그리고 비선주그룹별로 계산된 상대적 중요도를 나타내고 있다. 3개의 ‘법제도 및 정책’의 소분류 요인에 대해 계산된 각각의 일관성 비율 값은 모두 최소만족 기준인 0.1 이하를 충족시키는 것으로 나타났다. 전체집단으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도 크기를 관찰한 결과, ‘구조설비관련법규 요인’(0.39)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘법적책임관련법규 요인’(0.34)과 ‘운항교통관련법규 요인’(0.26)의 순서로 중요도가 파악되었다.

선주그룹으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, ‘법적책임관련법규 요인’(0.39)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘구조설비관련법규 요인’(0.34)과 ‘운항교통관련법규 요인’(0.26)의 순서로 중요도가 평가되었다.

비선주그룹이 평가한 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, ‘구조설비관련법규 요인’(0.47)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘법적책임관련법규 요인’(0.28)과 ‘운항교통관련법규 요인’(0.26)의 순서로 중요도가 평가되었다.

표 5. 법제도 및 정책 요인의 소분류 요인 중요도 및 일관성 비율 평가 결과

법제도 및 정책 요인	중요도		
	전체	선주 그룹	비선주 그룹
운항교통관련법규	0.26	0.23	0.26
구조설비관련법규	0.39	0.24	0.47
법적책임관련법규	0.34	0.53	0.28
일관성 비율(C.R.)	0.00	0.00	0.00

(3) 안전·보안 요인 중요도 평가

[표 6]은 ‘안전·보안 요인’의 소분류 요인인 ‘기기장비설비의 손상’, ‘해양사고발생증가·감소’, ‘통신사고관련사항’을 포함하는 3개의 소분류 요인에 대해 전체집단과 선주그룹, 그리고 비선주그룹별로 계산된 상대적 중요도를 나타내고 있다. 3개의 ‘안전·보안’의 소분류 요인에 대해 계산된 각각의 일관성 비율 값은 모두 최소만족 기준인 0.1 이하를 충족시키는 것으로 나타났다. 전체집단으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도 크기를 관찰한 결과, ‘기기장비설비손상 요인’(0.60)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘해양사고발생증감 요인’(0.21)과 ‘통신사고관련 요인’(0.19)의 순서로 중요도가 계산되었다.

선주그룹으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, ‘기기장비설비의 손상 요인’(0.73)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘해양사고발생 증감 요인’(0.14)과 ‘통신사고관련 요인’(0.14)의 순서로 동일하게 중요도가 평가되었다. 비선주그룹이 평가한 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, ‘기기장비설비손상 요인’(0.54)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 ‘해양사고발생증감 요인’(0.24)과 ‘통신사고관련 요인’(0.22)의 순서로 중요도가 평가되었다.

표 6. 안전·보안 요인의 소분류 요인 중요도 및 일관성 비율 평가 결과

안전·보안 요인	중요도		
	전체	선주 그룹	비선주 그룹
기기장비설비의 손상	0.60	0.73	0.54
해양사고발생증가감소	0.21	0.14	0.24
통신사고 관련사항	0.19	0.14	0.22
일관성 비율(C.R.)	0.00	0.00	0.00

(4) 기술적 요인 중요도 평가

[표 7은 '기술적 요인'의 소분류 요인인 '건조기술', '고장대응정비기술', '사고대응기술', '항만하역연계기술'을 포함하는 4개의 소분류 요인에 대해 전체집단과 선주그룹, 그리고 비선주그룹별로 계산된 상대적 중요도를 나타내고 있다. 4개의 경제성 요인의 소분류 요인에 대해 계산된 각각의 일관성 비율 값은 모두 최소만족 기준인 0.1 이하를 충족시키는 것으로 나타났다. 전체집단으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도 크기를 관찰한 결과, '사고대응기술 요인'(0.39)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '고장대응기술 요인'(0.30)과 '건조기술'(0.19), '항만하역연계기술 요인'(0.12)의 순서로 중요도가 계산되었다.

선주그룹으로부터 계산된 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '사고대응기술 요인'(0.42)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '고장대응기술 요인'(0.34)과 '건조기술'(0.16), '항만하역연계기술 요인'(0.08)의 순서로 중요도가 평가되었다.

비선주그룹이 평가한 대분류 요인의 중요도를 관찰한 결과, '사고대응기술 요인'(0.38)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '고장대응기술 요인'(0.28)과 '건조기술'(0.20), '항만하역연계기술 요인'(0.13)의 순서로 중요도가 평가되었다.

표 7. 기술적 요인의 소분류 요인 중요도 및 일관성 비율 평가 결과

기술적 요인	중요도		
	전체	선주 그룹	비선주 그룹
건조기술	0.19	0.16	0.20
고장대응정비기술	0.30	0.34	0.28
사고대응기술	0.39	0.42	0.38
항만하역연계기술	0.12	0.08	0.13
일관성 비율(C.R.)	0.00	0.04	0.00

2. MASS 도입 소분류 요인 전체 비교 평가

[표 8은 16가지의 소분류 요인들에 대하여 상대적 중요도를 나타내고 있다. 전체 소분류 요인들 중 '기기장비설비의 손상'(0.263)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '사고대응기술 요인'(0.103)과 '해양사고발생증감 요인'(0.093), '통신사고관련대응 요인'(0.085)의 순서로 중요도가 계산되었다. 상대적으로 '항만하역연계기술 요인'(0.032)이나 '선원관련비용절감 요인'(0.021)은 낮은 중요도로 평가되었다.

표 8. 소분류 요인의 중요도 및 순위 평가 결과(전체집단)

대분류 요인	소분류 요인	중요도	순위
안전보안요인	기기장비설비고장	0.263	1
기술적요인	사고대응기술	0.103	2
안전보안요인	해양사고발생증감	0.093	3
안전보안요인	통신사고	0.085	4
기술적요인	고장대응및정비기술	0.080	5
경제성요인	운항이익증가	0.054	6
법·제도·정책 요인	구조설비관련법규	0.053	7
기술적요인	건조기술	0.052	8
경제성요인	건조비용	0.049	9
법·제도·정책 요인	법적책임관련법규	0.046	10
법·제도·정책 요인	운항교통관련법규	0.036	11
경제성요인	관리운영비증가	0.032	12
기술적요인	항만하역연계기술	0.032	12
경제성요인	선원관련비용절감	0.021	14

[표 9는 16가지의 소분류 요인들에 대하여 선주그룹으로부터 계산된 상대적 중요도를 관찰한 결과이다. 전체 소분류 요인들 중 '기기장비설비의 손상'(0.237)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '건조비용 요인'(0.163)과 '운항이익증가 요

인'(0.126), '법적책임관련 요인'(0.069)의 순서로 중요도가 계산되었다. 상대적으로 '선원관련비용절감 요인'(0.043)이나 '항만하역연계기술 요인'(0.012) 그리고 '건조기술 요인'(0.025) 등은 낮은 중요도로 평가되었다.

표 9. 소분류 요인의 중요도 및 순위 평가 결과(선주그룹)

대분류 요인	소분류 요인	중요도	순위
안전보안요인	기기장비설비고장	0.237	1
경제성요인	건조비용	0.162	2
경제성요인	운항이익증가	0.126	3
법·제도·정책 요인	법적책임관련법규	0.069	4
기술적요인	사고대응기술	0.068	5
기술적요인	고장대응및정비기술	0.055	6
경제성요인	관리운영비증가	0.051	7
안전보안요인	통신사고	0.045	8
안전보안요인	해양사고발생증감	0.045	8
경제성요인	선원관련비용절감	0.043	10
법·제도·정책 요인	구조설비관련법규	0.032	11
법·제도·정책 요인	운항교통관련법규	0.030	12
기술적요인	건조기술	0.025	13
기술적요인	항만하역연계기술	0.012	14

[표 10]은 16가지의 소분류 요인들에 대하여 비선주그룹으로부터 계산된 상대적 중요도를 관찰한 결과이다. 전체 소분류 요인들 중 '기기장비설비의 손상'(0.259)이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 '사고대응기술 요인'(0.114)과 '해양사고발생증감 요인'(0.114), '통신사고관련사항 요인'(0.103)의 순서로 중요도가 계산되었다. 상대적으로 '관리운영비증가 요인'(0.022) 그리고 '선원관련비용절감 요인'(0.014) 등은 낮은 중요도로 평가되었다.

표 10. 소분류 요인의 중요도 및 순위 평가 결과(비선주그룹)

대분류 요인	소분류 요인	중요도	순위
안전보안요인	기기장비설비고장	0.259	1
기술적요인	사고대응기술	0.114	2
안전보안요인	해양사고발생증감	0.114	2
안전보안요인	통신사고	0.103	4
기술적요인	고장대응및정비기술	0.085	5
경제성요인	건조기술	0.060	6
법·제도·정책 요인	구조설비관련법규	0.060	7
기술적요인	항만하역연계기술	0.040	8
법·제도·정책 요인	법적책임관련법규	0.035	9
경제성요인	운항이익증가	0.034	10
법·제도·정책 요인	운항교통관련법규	0.033	11
경제성요인	건조비용	0.026	12
경제성요인	관리운영비증가	0.022	13
경제성요인	선원관련비용절감	0.014	14

V. 결론

1. 논의 및 결론

본 연구가 수집한 113명의 자료에 대하여 AHP 분석을 수행한 결과, 4개의 대분류 요인 중에서 안전보안요인의 상대적 중요도(0.44)가 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 안전보안 대분류 요인은 선주그룹에서 두 번째로 큰 중요도(0.33)를 가지며, 비선주그룹에서는 가장 큰 중요도(0.48)를 가지는 것으로 나타나 선주그룹과 비선주그룹에서 모두 높은 우선순위를 가지는 것으로 평가되었다. 안전 및 보안요인은 잠재적인 사고와 보안위험을 최소화하고, 선박운항중단을 방지하기 위해 고려해야 하는 필수적인 요인이다. 선주그룹은 MASS의 운영과 관련한 전략적 방향을 설정하고, 장기적인 목표를 달성하기 위

해 의사결정을 내리는 역할을 수행하는 특징을 가진다. 이들은 주로 경제적 효율성과 비용 절감, 그리고 범규의 준수를 중요시한다. 그러나 MASS 도입 과정에서 선주그룹이 안전보안 요인에 대한 중요성을 강하게 인식하는 것으로 나타난 본 연구의 결과는 선주그룹이 MASS 운영의 안전성과 보안이 지속 가능성과 직접적으로 연결되어 있음을 인식하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 비선주그룹은 주로 기술적 전문가들과 현장 운영자들로 구성되며, 이들은 일상적인 운영의 실질적 실행 가능성과 안전성을 중요시한다. 그리고 비선주그룹은 MASS의 기술적 타당성, 사이버 보안, 또는 실제 해상 운영 중에서 발생할 수 있는 다양한 위험 요소들을 고려한다. 이들은 MASS의 도입 과정에서 안전 및 보안요인이 필수적이라고 인식한다는 점에서 선주그룹의 의견과 맥락을 같이 하는 것으로 해석할 수 있다. 이와 함께, 선주그룹이 경제성 요인(0.38)을 가장 중요한 대분류 요인으로 인식한 본 연구의 결과는 MASS와 관련한 산업 내에서 이루어지는 전략적 의사결정에 중요한 통찰을 제공한다. 예를 들어서, MASS의 도입은 초기 투자 비용이 매우 높으며, 이는 경영진이 신중하게 고려해야 할 중요한 재무적인 결정이다. 선박의 자율화는 기술 개발과 인프라구축, 유지보수 등과 관련하여 높은 수준의 비용을 수반하기 때문에, 경제적 타당성을 면밀히 검토하는 것이 필수적이라는 점을 본 연구의 결과가 시사한다.

경제성 요인이 포함하는 4개의 소분류 요인에 대하여 상대적 중요도를 평가한 본 연구에서는 운항이익 증가(0.35)와 건조비용(0.31)이 높은 중요도를 가지는 소분류 요인인 것으로 나타났다. MASS는 AI기술과 자동화기술을 통해 인건비를 포함한 여러 형태의 운영비용을 절감할 수 있다. 전통적인 선박 운영에서는 선원의 급여와 거주비용 등 다양한 비용이 발생하지만, MASS의 도입에 따라 이러한 인건비를 크게 줄일 수 있다. 또한, 자동화된 시스템은 연료사용을 최적화하고, 항로를 효율적으로 계획하여 운영

효율성을 극대화한다. 이는 연료비 절감과 운항시간 단축으로 이어져 운항이익을 증가시킨다. 또한, MASS는 인간 선원의 피로도 등 인적관리와 무관하게 계속해서 운항할 수 있기 때문에, 물류 공급망의 효율성을 높이고, 더 많은 화물을 더 빠르게 운송할 수 있다. 이는 MASS를 운영하는 기업에게 더 큰 운송 가치를 제공하며, 해운사의 수익성을 증대시키게 된다. MASS 도입의 주요 장벽 중 다른 하나는 초기 건조비용이다. MASS는 첨단 기술과 복잡한 시스템이 요구되기 때문에 초기 건조비용이 높다는 특징을 가진다. 그러나 선행연구에서 이러한 초기 투자는 장기적으로 운영 비용 절감 및 운항이익 증가를 통해 회수될 수 있다고 보았다(Ewelina Ziajka Pozna'nska et al., 2021). 이와 함께, MASS의 건조에는 기술 개발 및 통합이 요구된다. 이는 자율운항시스템, 고급 센서, 통신 장치 및 에너지관리시스템 등 다양한 기술 요소들을 포함한다. 이들 기술 개발과 통합 과정에서 발생하는 비용을 고려해야 하며, 이를 통해 MASS의 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있다. 종합한다면, 운항이익 증가는 운영 효율성 향상, 운송량 증가, 사고감소 등을 통해 해운사의 수익성을 높일 수 있으며, 건조비용은 초기투자 및 기술통합 비용을 고려한 경제적 타당성 평가에 핵심적인 역할을 담당한다. 이러한 요인들을 종합적으로 분석하고 관리하는 것은 MASS 도입의 성공을 보장하는 데 필수적이며, 해양 산업의 미래를 재정의하는 데 중요한 기여를 할 것으로 여겨진다. 흥미로운 결과는 두 가지 소분류 요인인 운항이익 증가와 건조비용이 선주그룹과 비선주그룹 모두에서 중요하게 고려해야 할 요인으로 평가되었다는 점이다. 선주그룹은 비용절감과 수익 증대를 통해 기업의 재무성과와 경쟁력을 극대화하려는 목표를 가지고 있으며, 이에 따라 두 가지 요인이 중요하게 고려해야 할 요인으로 평가한 것으로 해석할 수 있다. 또한, 기술적인 효율성과 작업부담 경감, 운영안정성을 추구하는 비선주그룹도 장기적인 운영효율성과 안정성을 위해서는 운항이익과 건

조비용을 중요하게 고려하는 것이 불가피하다고 인식하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 선원관련비용 절감은 MASS 도입과 관련되어 두 선주그룹과 비선주그룹 모두 가장 낮은 중요도로 선정되었으며, 16가지의 소분류 요인의 중요도에서도 가장 중요도가 낮은 요인으로 선정되었다. 선행연구에서 언급된 무인 자율운항선박의 큰 장점 중 하나인 선원비 감소(Lutz Kretschmann 외, 2017)는 일자리 유지라는 직접적인 이해관계자가 포함된 비선주그룹 뿐만 아니라 선주그룹에도 큰 장점으로 인식되고 있지 못한 사실은 선원인건비의 비중이 전체 관리비용에서 차지하는 비중이 낮고 무인화에 따른 대한 추가적인 인적 관리비용 등이 반영된 결과로 인식될 수 있다. 선원인건비에 대한 인식은 MASS 도입 시 큰 성공 요인으로 인식하고 있는 기존 경제성 분석 선행연구와 상반된 결과이므로 후속연구를 통해 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

법제도 및 정책 요인이 포함하는 4개의 소분류 요인에 대하여 선주그룹의 경우 법적책임관련법규가 가장 높은(0.53) 평가요인으로 나타났으나 비선주그룹에서는 상대적으로 낮은(0.28) 평가요인으로 나타났다. 반대로 구조설비관련법규는 선주그룹에서는 상대적중요도가 낮았으나(0.24) 비선주그룹의 경우 상대적 중요도는 높게(0.47) 나타났다. 이는 선주그룹에서는 중대재해처벌법 등에 따른 사회환경적 변화가 선주그룹에 미치는 영향이 직접 반영된 결과로 해석될 수 있으며, 선박을 직간접적으로 운항하거나 안전 및 관리에 큰 영향을 미치는 구조설비가 가장 중요하게 고려될 요인인 것으로 해석된다.

대분류 요인 중 가장 높은 중요도로 인식된 안전 및 보안 요인이 포함하는 4개의 소분류 요인에 대하여 선주그룹과 비선주그룹 모두에서 기기장비설비(0.60)의 손상이 가장 높은 중요도를 보이는 것으로 나타났다. 선박운항에 위협이 될 요소는 중요도와 빈도에 따라서 그 정도를 구분할 수 있다. 선박운항 시 발생하는 기기설비의 문제는 즉시 해결하지 않으면

선박의 운항과 안전성에 심각한 영향을 미칠 뿐만 아니라 선박의 운항정지라는 심각한 상황에 직면할 수 있다. 특히, 노후된 기기장비설비는 문제가 발생할 빈도를 매우 높여 선박운항의 위험정도를 가중시킨다. 따라서 MASS의 기기손상 문제는 안정적인 운항이 재무성과와 직결될 뿐만이 아니라 안전운항에도 중요한 요인이기 때문에 선주그룹과 비선주그룹 모두 상대적 중요도가 높은 요인으로 선정된 것으로 해석된다.

안전 및 보안 요인의 결과의 연장선에서 기술적 요인에서도 선주그룹과 비선주그룹 모두가 고장대응 정비기술(0.30)이 비교적 높은 요인으로 나타났다. 그러나 기술적 요인이 포함하는 4개의 소분류 요인에 대하여 경영과 비선주그룹 모두 사고대응기술(0.39)이 상대적 중요도에서 가장 높은 요인으로 나타났는데 비상상황에 대한 대응의 능력 여부가 인명 및 환경 손실을 막거나 피해를 최소화 할 수 있는 중요한 요인이라는 것을 선주그룹나 비선주그룹 모두의 공통된 인식일 것이다. 무인 운항기술이나 자동화 설비 또는 로봇 등에 의한 정비 기술 및 무인 항만하역기술 등은 기술적 완성도에 있어 이미 상용화 수준까지 이루어져 있으나 사고 등 비상상황에 대한 무인 대응 기술은 명확한 기술적 진보를 확인하기 어려우며, 비상상황의 현장 대응(운영자) 등은 비선주그룹 뿐만아니라 운영의 안전성과 사고대응에 대한 중요성을 인식하고 있는 선주그룹에서도 MASS 도입 시 기술적 요인으로 가장 중요하게 고려하고 있는 요인으로 해석할 수 있다.

이러한 연구결과는 MASS와 관련된 조선해운산업계 및 정책당국에 여러 가지 시사점을 제공한다. 우선 조선산업계에서는 MASS 도입의 주체인 선주그룹에서 중요하게 인식하고 있는 요인이 경제성이며, 소분류 요인 중에서는 건조비용이므로 MASS의 운항효율 및 운항이익 대비 건조비용이 MASS의 성공에 크게 기여함을 인식하고 원가절감에 대한 전략적 접근이 필요할 것이다. 또한 해운산업계에서는 선원비 등

의 비용절감 요인보다는 기기장비설비의 손상과 사고대응기술 및 고장 대응정비 기술 등 MASS의 안전하고 지속가능한 운항에 대한 중요성을 매우 높은 수준으로 인식하고 있다. 이에 따라서 MASS의 안정적인 정착을 위해서는 사람이 승선하지 않더라도 지속가능한 운항이 될 수 있도록 다양한 문제해결 능력을 갖춘 MASS와 이를 지원하는 시스템 구축이 필수적인 전략목표가 되어야 할 것이며, 정부 또는 정부 출현기관은 해당 전략목표의 달성을 위한 체계적인 정책 수립이 필요하다.

종합한다면, 본 연구에서 조사된 상대적 중요도는 MASS 도입 시 의사결정을 진행해야 하는 선주사, MASS 도입에 필요한 다양한 법제도 및 정책을 담아 내야 하는 정부 및 정부 출현 기관, MASS의 안정적인 관리와 운영을 수행하는 선박관리회사 및 MASS의 실질적 이해관계자들의 관점을 균형 있게 반영하여 포괄적이고 효과적인 전략을 수립하는데 중요한 기반이 될 것이며, MASS 도입과 관련된 다양한 후속 연구의 기초자료가 될 것으로 예상된다.

2. 연구의 한계 및 제언

본 연구는 MASS 도입과 운영의 주체인 해운분야 업·단체의 인식조사를 통하여 MASS 도입 시 고려해야 할 요인들의 상대적 중요도를 비교 분석하여 향후 의사결정에 도움이 되는 기초자료를 제공하였다는 데 의의가 있다.

MASS의 도입은 선주사가 가장 중요한 의사결정의 주체이고 선주사그룹에서 가장 중요하게 고려하는 요인은 경제성 요인이다. MASS는 현존선과 비교하여 비용과 편익에서 현저한 차이가 있을 것으로 판단되나 본 연구에서는 MASS 도입의 결정요인에 중요한 영향을 미치는 경제적 분석이 전제되지 않고 단순히 경제적 요인의 파악 및 인식조사만 진행된 한계가 있다. MASS의 경제성 분석은 개인의 연구범위를 넘어설 수 있는 현실적 한계가 있어 후속연구에서 더 큰 규모의 연구를 통하여 경제성에 대한 요

인을 정량적으로 파악할 필요성이 있다. 경제성분석 결과를 전제로 비용과 편익에 대한 상세한 정보를 제공하고 이를 바탕으로 깊이 있고 체계적인 인식연구가 진행된다면 해운산업계 전반에 걸쳐 MASS 도입과 운영에 필요한 전략적 의사결정에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김대정, 이춘기, 임정빈(2023), 자율운항선박의 항로추종성능 평가기법 개발에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 47(1), 237, 10-17.
- 김성범, 정현재, 이호영, 여기태 (2013), 우리나라 해운기업의 선박확보 투자 의사결정요인에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 29(2), 137-157.
- 김태규(2021), 자율운항선박 상용화 이후 선박사고에 있어 선장과 원격원항자간 형사책임에 관한 연구, 한국해양경찰학회보, 11(4), 105-133.
- 대한민국 정책브리핑(2021), 자율운항선박 개발.
- 박정현(2019), 자율운항선박(MASS)의 개발현황과 법률제정 필요성에 관한 연구, 성균관대학교 석사논문.
- 박준모(2024), 자율운항기술 기반의 선박 통항 안전성 평가 방법론 개선 연구, 해양환경안전학회지, 30(1), 74-81.
- 산업통상자원부(2024). 자율운항선박 실증으로 국제 표준 선도. 정부정책 보도자료.
- 유지운, 조용현, 차영균(2022), 자율 운항 선박의 인공지능:잠재적 사이버 위협과 보안. 정보보호학회지, 32(2), 447-463.
- 이광일(2018), 자율운항선박을 위한 원격제어관리시스템, 한국융합학회논문지, 9(11), 45-51.
- 이영규(2019), 자율운항선박 도입을 위한 기술적 쟁점에 관한 연구 : 전문가 심층 인터뷰를 중심으로. 부경대학교, 석사논문.
- 이재영(2019), 자율운항선박의 개발동향 및 쟁점분석을 통한 정책적 제언, 한국해운물류학회지, 35(1), 73-97.
- 이현균(2023), 자율운항선박 해상실증을 위한 법적 규제 및 법적 개선방안에 관한 연구, 한국해법학회지, 45(2), 67-106.

- 임성주, 신용준(2022), 자율운항선박 도입에 따른 해기사 직능 변화와 인력양성에 관한 연구, 한국해양수산학회, 46(1), 1-10.
- 법무부(2024), 자율운항선박 개발 및 상용화 촉진에 관한 법률, 법률 제19909호, 제2조 1항.
- 최혜진, 서강현, 이재웅(2024), 추진 축거동 상시 모니터링 시스템 구축에 관한 연구, 한국동력기계공학회지, 28(2), 20-26.
- Abeera Akbar, Anna K.A. Aasen, Mohamed Kais Msakni, Kjetil Fagerholt, Elizabeth Lindstad, Frank Meisel,(2021), An economic analysis of introducing autonomous ships in a short-sea liner shipping network. *International Transactions I, Operational Research*. 28(4), 1740-1764.
- Crawford, M. and Wright, G.(2016), "Delphi Method", ResearchGate, Wiley StatsRef : Statistics Reference Online, 1-6.
- Ewelina Ziaika-Poznanski Montewka.(2021), Cost and Benefits of Autonomous Shipping-A Literature Review. *MDPI, Appl. Sci*, 11,4553.
- Fang, S., Wang, Y., Gou, B., & Xu, Y.(2020), Toward future green maritime transportation: An overview of seaport microgrids and all-electric ships. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(1), 207-219.
- Gál, T., Stewart, T. J., & Hanne, T.(1999), Multicriteria decision making: Advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications, volume 21 of international series in operations research & management science, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.
- IMO(2018), Maritime Safety Committee 99. IMO tankes first steps to address autonomous ships.
- IMO(2023), Maritime Safety Committee 107/WP.9 Annex 1.
- IMO(2024), Maritime Safety Committee 108/WP.7 Annex 2.
- Krzysztof Wrobel, Mateusz Gil, Chong-Ju Chae(2021), On the influence of human factors on safety of remotely-controlled merchant vessels. *Applied Sciences*, 11(3):1-17, p 1145.
- Li, X. & Yuen, K. F.(2023), A human-centred review on maritime autonomous surfaces ships: impacts, responses, and future directions, *Transport Review*, 44(4), 791-810.
- Lutz Kretschmann & Hans-Christoph Burmeister & Carlos Jahn(2017), Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier, 25. 76-86.
- Saaty, T. L.(1980), *The analytic hierarchy process* McGraw Hill, New York.

자율운항선박 도입의 결정요인 분석

정수진 · 윤희성 · 김선태 · 설진기

국문요약

4차 산업기술의 발전과 함께 해운분야에서도 자율운항선박 관련 기술 및 정책 개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 해운산업의 전문가 및 실무자를 대상으로 설문조사를 통하여 자율운항선박(MASS)의 도입에 영향을 미치는 다양한 요인들을 식별하여 우선순위를 파악하였다. 이 과정에 우선하여 자율운항선박 도입의 결정요인에 대한 선행연구를 검토하였으며, 해운산업 전문가들의 의견을 반영하여 계층화 분석법(AHP)의 쌍대비교를 위한 설문문항을 개발하였다. 쌍대비교 항목으로는 가장 높은 수준의 요인을 4가지의 대분류 요인으로 구분하였으며, 각각의 대분류 요인을 소분류 요인으로 세분화하여 우선순위를 파악하였다. 설문대상을 선박을 소유하여 실질적인 선박경영을 하는 회사 대표 및 선박도입 의사결정권자인 선주그룹과 선박을 실질적으로 소유하지는 않으나 선박의 운영 및 전문가로 구성된 비선주그룹으로 나누어 설문하였다. 그 결과 대분류 요인인 경제성 요인, 법·제도·정책 요인, 안전·보안 요인 그리고 기술적 요인 중 선주그룹은 경제성 요인을 최우선순위로 선정하였으나 안전·보안 요인과 그 차이는 크지 않았다. 그러나 비선주그룹에서는 안전·보안 요인을 가장 높은 요인으로 선정하였으며, 경제성 요인은 가장 낮은 요인으로 선정하였다. 선주집단과 비선주집단을 모두 포함하는 전체집단에서 하위단계인 소분류 요인은 경제성 요인의 경우 운항이익증가 요인을, 법·제도·정책 요인의 경우 구조설비관련 법규를, 안전·보안 요인의 경우 기기장비설비의 고장 요인을, 기술적 요인의 경우 사고대응기술을 가장 높은 요인으로 선정하였다. 본 연구는 AHP 분석을 통해 MASS 도입 결정에 영향을 미치는 요인들을 체계적으로 분석함으로써 이해관계자들에게 중요한 전략적 통찰을 제공한다. 이러한 결과를 통해 기업은 효율적인 자원 배분 및 투자전략을 수립할 수 있으며, 정책 결정자들은 정책 및 규제 방향을 설정하는 데 도움이 될 것으로 여겨진다. 또한 이 연구는 기술적 및 법적 요소와 함께 상업적 고려 사항을 통합하여 MASS 도입 결정 요인의 프레임워크를 강화함으로써 기존 지식체계에 기여하며, 이러한 결과는 미래 연구를 위한 기본 정보를 제공할 뿐만 아니라 MASS 도입 및 운영과 관련하여 조선 및 해양 산업에서 정보에 입각한 의사결정을 위한 근거를 제공한다.

주제어 : 자율운항선박(MASS), AHP, 인식조사, 결정요인