



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

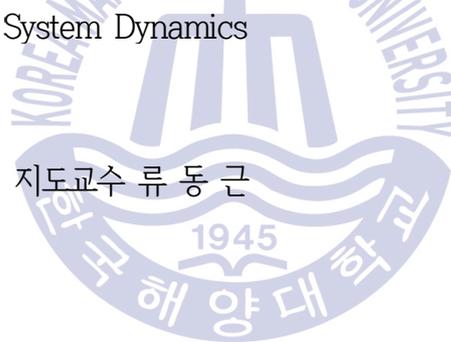
[Disclaimer](#)

경영학박사 학위논문

시스템 다이내믹스를 이용한 자율운항선박의 기술발전에 따른
한국해양산업인력의 규모와 구조 변화에 대한 연구

A Study on the Change of the Size and Structure of Korean
Maritime Manpower by Technological Development of MASS using
System Dynamics

지도교수 류 동 근



2018 년 12 월

한국해양대학교 대학원

해운경영학과

조 소 현

본 논문을 조소현의 경영학박사 학위논문으로 인준함

위원장 : 이기환 인

위원 : 전영우 인

위원 : 장명희 인

위원 : 김태균 인

위원 : 류동근 인

2018 년 12 월

한국해양대학교 대학원

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경과 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	5
제 2 장 이론적 고찰	8
2.1 자율운항선박	8
2.1.1 자율운항선박의 정의	8
2.1.2 자율운항선박의 기술 수준 및 자율화 등급	11
2.1.3 자율운항선박의 등장	15
2.2 자율운항선박 기술 현황 및 전망	17
2.2.1 글로벌 자율운항선박 기술 현황 및 전망	17
2.2.2 국내 자율운항선박 기술 현황 및 전망	24
2.3 선행연구 고찰	29
2.3.1 자율운항선박과 해운인력에 대한 선행연구	29
2.3.2 시스템 다이내믹스와 해운인력에 대한 선행연구	33
2.4 선행연구를 통한 시사점	35
제 3 장 연구 설계	37
3.1 시스템 다이내믹스	37

3.1.1 시스템 다이내믹스 개요	37
3.1.2 시스템 다이내믹스 특성	39
3.1.3 주요 구성 요소	40
3.1.4 시스템 다이내믹스 기법 수행 절차	41
3.2 인과지도 및 구성	43
3.3 Stock-flow 다이어그램	46
3.4 시뮬레이션 적용 범위	49
3.4.1 적용 개요	49
3.4.2 시간적 범위	49
3.4.3 기술적 범위	49
제 4 장 실증분석 및 결과	63
4.1 시나리오에 따른 모델 분석 결과	63
4.1.1 초기 발전형	63
4.1.2 기간 비례형	71
4.1.3 중반기 발전형	78
4.1.4 후반기 발전형	85
4.2 시나리오 분석 결과	92
4.3 모델 검증	94
4.3.1 최적화와 리스크 관리	94

제 5 장 결론97

 5.1 연구의 요약 및 시사점97

 5.2 연구의 한계 및 향후 연구 과제100

참고문헌102



List of Tables

Table 1 자율운항선박에 대한 정의 비교	10
Table 2 영국선급(LR) 자율화 등급	11
Table 3 Rolls-Royce의 자율화 등급	13
Table 4 IMO 자율화 등급	13
Table 5 프랑스 선급(BV) 자율화 등급	14
Table 6 자율운항선박의 자율 등급 비교	15
Table 7 한국의 자율운항선박 기술개발 현황	28
Table 8 해기사 수요 공급 예측	35
Table 9 통계적 기법과 시스템 다이내믹스 방법론간의 비교	40
Table 10 파워십 주요 모델링 명칭	41
Table 11 한국선원 취업 현황	53
Table 12 해양산업의 규모 및 일자리 창출 규모	55
Table 13 자율운항선박 관련 10대 해양수산업 과급 효과	56
Table 14 자율운항선박 관련 10대 해양수산업 중 신규 일자리 예시	56
Table 15 적용된 변수들의 정의 및 범위	59
Table 16 시뮬레이션에 적용된 수식의 정의	60
Table 17 초기 발전형의 MASS 선복량 추세	64
Table 18 초기발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	66

List of Tables

Table 19 초기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화	67
Table 20 초기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	69
Table 21 기간 비례형의 MASS 선복량 추세	71
Table 22 기간 비례형의 선원 고용 인력 규모 변화	73
Table 23 기간 비례형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화 추세	75
Table 24 기간 비례형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	76
Table 25 중반기 발전형의 MASS 선복량 추세	78
Table 26 중반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	80
Table 27 중반기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화	82
Table 28 중반기 발전형의 고용 인력 규모 변화	83
Table 29 후반기 발전형의 MASS 선복량 추세	85
Table 30 후반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	87
Table 31 후반기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화	89
Table 32 후반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	90
Table 33 시나리오별 해양산업 고용 인력 규모 변화	92
Table 34 시나리오별 해양인력 규모 변화 결과	93

List of Figures

Fig. 1 MUNIN의 자율운항선박 개념도	9
Fig. 2 MUNIN의 자율운항선박의 운항 방식	9
Fig. 3 미국 최초의 기뢰소해(Minesweeping) 무인선	16
Fig. 4 자율운항선박의 국가별 주요 동향	17
Fig. 5 MUNIN 프로젝트 로드맵	18
Fig. 6 Rolls-Royce의 장기 로드맵	19
Fig. 7 세계최초 원격조종 선박인 Sviter Hermod호	20
Fig. 8 야라 버클랜드호(좌), 운항경로도(우)	22
Fig. 9 현대중공업 통합 스마트선박 솔루션 개념도	26
Fig. 10 삼성중공업의 원격감시시스템(VPS)	27
Fig. 11 전 세계 선박량과 물동량 현황	31
Fig. 12 ICS/BIMCO의 선원 수요 및 공급 예상	32
Fig. 13 시스템 다이내믹스 기법 연구 수행 절차	42
Fig. 14 인과지도(Causal Loop Map)	45
Fig. 15 Stock-Flow Diagram	46
Fig. 16 Stock-Flow Diagram-감소모델	47
Fig. 17 Stock-Flow Diagram-증가 모델	48

List of Figures

Fig. 18 초기 발전형 시나리오	50
Fig. 19 중반기 발전형 시나리오	51
Fig. 20 기간 비례형 시나리오	51
Fig. 21 후반기 발전형 시나리오	52
Fig. 22 자율운항선박의 자율수준과 선원 감소	54
Fig. 23 초기발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	65
Fig. 24 초기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	68
Fig. 25 기간 비례형의 선원 고용 인력 규모 변화	72
Fig. 26 기간 비례형의 해양 인력의 고용 규모 변화	75
Fig. 27 중반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	79
Fig. 28 중반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	82
Fig. 29 후반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화	86
Fig. 30 후반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화	89
Fig. 31 최적화 결과	95
Fig. 32 MASS 연관 산업 총 고용 인력의 리스크 관리	96

시스템 다이내믹스를 이용한 자율운항선박의 기술발전에 따른 한국해양산업인력의 규모와 구조 변화에 대한 연구

조 소현

해운경영학과

한국해양대학교 대학원

초록

본 연구는 시스템 다이내믹스(SD)법을 이용하여 자율운항선박(MASS)의 기술발전형태에 따른 시나리오별 해양산업인력의 규모 및 구조의 변화에 대해 분석하는 것을 연구의 목적으로 한다. 본 연구에서는 시스템 다이내믹스의 파워심(Powersim) 프로그램을 활용하여 해양산업인력 규모 변화에 영향을 주는 요소들간의 관계를 정립하고 인과관계를 분석하였다.

시스템 다이내믹스의 고유한 방법론적 특징은 시스템의 동태적인 형태변화(dynamic behavior), 즉 시간의 흐름에 따른 시스템의 형태 변화를 분석하는 것이다. 시스템 다이내믹스의 동태적 변화의 근본적 원인을 피드백 구조(feedback structure)에서 찾을 수 있고, 동 연구에서 인력시장의 규모 변화 요인들의 인과관계를 이러한 피드백 구조를 토대로 분석하였다. 선원의 수요 및 공급 예측 연구나 해양산업인력의 고용 효과를 예측하기 위한 연구방법론으로 주로 이용된 시계열 분석 방법이 아닌 시스템 다이내믹스를 활용한 이유는 변수들 간의 인과관계를 정의, 수식으로 표현하여 시뮬레이션을 구현함으로써 정량적 분석이 가능하기 때문이다.

- X -

시뮬레이션을 위해 2018년부터 2035년까지 자율운항선박의 기술을 4가지의 다른 형태로 발전하는 시나리오를 가정하였다. 가정된 시나리오는 초기 발전형, 기간 비례형, 중반기 발전형 및 후반기 발전형이다. 또한 사용된 변수는 MASS 기술 발전 수준, 연간 MASS 선박 증가량이며 각 요인의 값들이 변화했을 때 감소된 선원 일자리의 수를 제시한다. 또한 MASS 기술 발전 수준이 향상되고 해양산업의 도입으로 인해 연간 MASS 선박량의 증가를 가정하였다. 이때 MASS 선박량의 증가는 MASS 선박 당 육상관제요원의 수 (Shore control center operator), 신규 산업의 규모, 신규 교육 대상 규모, 신규 교원 등의 증가에 영향을 미치게 된다.

자율운항선박의 기술 발전과 도입으로 인해 해양산업의 인력 시장에는 상당한 영향을 미칠 것으로 예측되며 식별된 각 요인들이 감소된 선원 일자리의 수와 증가된 MASS 신규 일자리 창출에 어떠한 영향을 주는지를 검증하기 위하여 민감도 분석을 시행하였다.

감소된 일자리 수 대비 신규 창출된 일자리의 최적값을 구하기 위해 시스템 다이내믹스의 최적화(Optimization)를 구현하였다. 그 결과, 2035년에 선원의 일자리 감소만큼을 만회할 수 있는 MASS 관련 신규 일자리 창출은 척당 고용유발효과가 14.5명과 같았다. 이는 MASS 척 당 고용유발효과가 14.5명이면 선원 감소 일자리의 수와 신규 창출된 일자리의 규모는 차이가 없는 것으로 분석된다.

그러나 기존의 선행연구에서 MASS 선박 척 당 고용유발효과는 191명으로 연구되었고, 그 내용을 기초로 하여 시뮬레이션 결과 선원 일자리 수 감소 대비 신규 일자리 창출의 효과는 대략 49배가 되었다. 또한 그러한 효과가 극대화 되는 시점은 4개의 발전 시나리오별로 다소 차이는 있으나 2020년과 2025년 정도에 공통적으로 극대화되어 완전 자율운항선박이 실현되는 2035년까지 점차 증대되는 규모의 변화가 나타났다.

결과적으로 2018년에서 2035년의 완전자율운항선박의 기술발전 및 해양산업으로의 도입은 기존의 유인화 선박에 해당하는 선원 일자리는 감소를 유발하지만 신규 해양산업 일자리에겐 훨씬 더 큰 영향력을 미치는 것으로 분석되었다. 새로운 산업으로 인해 취업유발효과가 크게 발생하고, 이는 인력시장에 더 많은 인적자원을 필요함이 예상된다.

자율운항선박의 도입과 확산에 의해 해양산업의 기존 고용인력이 직무 교육이나 훈련 후 재배치되거나 신규 인력의 유입도 예상되어 해양산업 인력 시장의 구조 변화가 예측된다. 따라서 새로운 기술 산업의 개발과 발전 가속화에 따라 동 산업에서 요구하는 인력의 양성과 육성 방안이 고려되어야 한다. 더불어 고용감소와 기술변화에 대비하기 위해서는 기술변화가 일자리 변화에 미치는 영향을 파악하고 지속적으로 정책에 반영하여 다각도로 인력 보호에 노력해야 한다. 기술변화가 본격적으로 확산되기 전에 현재 인력들의 재배치가 적절한 시기에 이루어져야 하며 전문 기술을 습득하고 활용할 수 있도록 전략적 제도와 계획이 필요하다.

주제어: 자율운항선박, 선원, 해양산업인력, 시스템 다이내믹스.



A Study on the Change in the Size and the Structure of Korean Maritime Manpower followed by Technological Development of MASS utilizing System Dynamics

Jo, So Hyun

Department of Shipping Management

Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

This study uses System Dynamics(SD) method to analyze the magnitude and structure of maritime manpower according to the types of development of MASS(Maritime Autonomous Surface Ship) under various scenarios. This study utilizes Powersim program of SD to establish the relationship among elements that affect the change in magnitude of the Korean maritime manpower and to analyze the causal relationship.

The original characteristics of System Dynamics methodology is that it analyzes the dynamic behavior, namely the transformation of the system according to the passage of time. The fundamental cause of the dynamic behavior of System Dynamics can be found in the feedback loop structure, and this study analyzes the causal relationship of the factors affecting on the changes in size of the manpower market based on this feedback structure. Until now, time series methodology have been largely utilized to forecast the supply & demand of seafarers or the employment effect of

maritime manpower. However, this study utilizes a simulation model to forecast seafarers' jobs under different scenarios. The simulation is implemented in a mathematical expression including understanding of the internal and external effects and definition of the causal relationship among variables.

For simulation, the current study assumes that the technological development of MASS proceeds in four different S-curves from 2018 to 2035. The assumed scenarios are early development type, proportional to period type, development in mid-term type and development in final phase type. MASS technology enhancement levels and annual MASS fleet are the selected variables used in the model. When these variables increase, they produce a decrease in seafarers' jobs. On the other hand, the model shows that as MASS technology is developed and ships number is increased, there is a significant rise in the number of shore control center MASS operators and the creation of new MASS-related job opportunities including newly trained manpower and instructors, responsible for education and training for MASS.

In order to verify how these variables reduce seafarer jobs and increase new MASS jobs, sensitivity analysis and optimization are conducted. Optimization revealed that the new job creation relevant to MASS surpassing the reduced jobs of seafarers in 2035 would be equal to 14.5 persons per vessel for employment inducing effect. It shows there is no difference between the number of reduced seafarer jobs and the size of the new job creation if the employment inducing effect per vessel is 14.5 persons.

However, the existing pilot study shows that the employment inducing effect per MASS vessel is 191 persons, and the result of the performed simulation suggests that new jobs creation compared to the level of reduced seafarer jobs is 50 fold. In addition, the timing of maximization of such effect differs according to the four different development scenarios, but a common maximization will occur in 2025 followed by a stabilized size of change increasing gradually until 2035 when MASS will be realized.

Technological advancement of the complete MASS and its introduction into the maritime industry from 2018 towards 2035 reduces seafarer jobs for the existing manned ships, but the analysis shows that it exerts greater impact to the new maritime jobs. The new industry is likely to have a large effect on employment, and it is expected that more human resources are will be needed in the labor market.

Based on the results of the dynamic behavior of this study, it is estimated that jobs in the maritime industry will be reallocated or shifted to other areas via a new employment. Therefore, as the development of new technology is accelerated, the education, training and development of human resources required in the industry need to considered.

KEY WORDS: Maritime Autonomous Surface Ship(MASS), Seafarers, Maritime Manpower, System Dynamics(SD).



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

제4차 산업혁명(Fourth Industrial Revolution) 시대를 맞이하여 인공지능 탑재, 사람이 배제된 무인화에 관한 연구 개발이 최근 항공기, 자동차, 선박을 포함하여 다양한 산업분야에 걸쳐 활발하게 진행되고 있다. 특히 해운분야에서는 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS)이 차세대 해양산업의 성장 동력으로 기대되고 있으며 미래 혁신성장 기술에 대한 새로운 도전과제로 주목받고 있다. 자율운항선박은 해외에서는 Unmanned ship, Digital ship, Remote ship, Autonomous ship, Connected ship 등으로 불리었고(이윤석, 2018), 우리나라에서는 스마트 선박(smart ship)¹⁾ 명칭으로도 불리다가 최근에 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS)으로 정의되었다. 국제해사기구(IMO)의 제98차 해사안전위원회(Maritime Safety Committee, MSC)에서는 자율운항선박의 도입과정에 필요한 규정의 개정 범위를 검토하기로 결정하였으며, 기존의 해상협약 중 자율운항선박 관련하여 적용 및 개정될 부분을 식별하는 작업을 진행하고 있다(IMO, 2018a).

현재 자율운항선박 개발관련 이슈는 영국, 노르웨이, 덴마크, 핀란드 등의 유럽국이 기술적으로 앞서 나가고 있으며, 민간 기술개발사는 대표적으로 노르웨이의 Kongsberg, 영국의 Rolls-Royce 등이 있다. 우리나라 정부는 올해 제1차 해양수산과학기술육성 기본계획(2018~2022년)²⁾을 확정하였고, 그 중에 제4차 산업혁명 기술융합분야 개발과제로 3대 해양수산분야를 선정하여 집중 육성할 계

- 1) Smart Ship(스마트 선박), 정보통신기술(ICT)을 기반으로 하는 선박. 조선 기술에 자율운항제어 시스템(ANS : Autonomous Navigation System), 선박 자동 식별 장치(AIS : Automatic Identification System), 위성 통신망 선박 원격 제어 기술(IMIT : Integrated Maritime Information Technology) 같은 최첨단 정보 기술을 접붙여 자율 운항은 물론 경제적 운항, 안전 운항을 할 수 있는 차세대 디지털 선박을 말함(IT 용어 사전, 2018.02.26. 검색).
- 2) 해양수산과학기술 육성법 제5조(해양수산과학기술 육성 기본 계획의 수립 등)에 따른 해양수산 분야 과학기술 정책의 최상위 계획.

획이다. 선정된 3대 해양수산분야로는 자율운항선박, 스마트 양식 및 스마트 해운항만이며, 그 중 자율운항선박의 개발은 침체된 조선과 해운의 경쟁력 강화를 위한 돌파구가 될 수 있으며, 그 파급효과가 크고 상용화 가능성이 높은 고부가가치 산업으로 평가되어 동 사업에 포함되었다(해양수산부, 2018).

자율운항선박 관련 기술을 개발하고 도입하려는 주된 이유로는 운영비용의 절감과 더불어 기술적 우위를 선점하려는 데 있다. 현재의 과학기술은 컴퓨터와 인터넷 기반의 지식정보를 넘어서 인공지능(AL), 사물인터넷(IoT), 빅데이터 등의 지능정보기술(Information Communication Technology, ICT)이 기존의 산업과 서비스에 융합되면서 과학기술은 어느 때보다 빠르게 진보하고 있다. 이러한 자율운항선박은 선가와 유지비, 선박보험료 등의 증가라는 단점이 있는 반면 최첨단 시스템에 의한 안정적 운영과 긴급 상황 대처를 위한 최소한의 인원만을 승선시킴으로써 전체 운영비용의 10~20%를 절감할 수 있는 장점이 있다. 특히 선원인건비 및 연료비 절감 등을 통한 경제적 편익이 상당하고, 해양사고 원인의 대부분을 차지하는 인적 과실(Human error)을 줄임으로써 얻을 수 있는 안전성 향상 등의 장점을 기대할 수 있다(Rolls-Royce, 2016; D'agostini et al., 2017; 윤익로 외, 2018). 반면 통신 및 각종 디지털 장비로 인한 선가 상승, 기계결함 및 사이버 공격(Cyber attack)과 같은 해상안전을 위협하는 새로운 위험이 증가할 수 있다(Lloyds Register, 2017a). 따라서 선원 인건비와 운영비 절감, 선원거주 공간의 최소화를 통한 화물 선적 공간 증대 등을 고려할 때 향후 미래 자율운항선박의 경쟁력은 초기 투자금액의 증가에도 불구하고 운항비용의 절감이 이를 상쇄할 수 있으리라는 기대가 가능하다.

최근 한 연구는 자율운항선박에 의한 해사산업 및 관련 분야의 경제적 시장 규모는 2025년에 약 1,550억 달러(한화 약 170조)까지 확대될 것으로 예상되며, 전후방 모든 산업의 현 성장률을 고려했을 때 2035년에 약 8,000조의 시장규모가 될 것으로 전망하였다(박한선 외, 2018).

다른 연구에서는 자율운항선박이 10대 해양수산업³⁾에 미치는 효과로서 1척

3) 윤익로 외(2018), '자율운항선박 기술영향 평가'. 10대 해양수산업의 산업연관 분류체계 및 비중은 해양수산과학기술진흥원(2017년)을 참조하여 분석함. 10대 해양수산업은 수산업, 해양자원개

당 생산유발효과 약 4,317억 원, 부가가치 유발효과 약 807억 원, 고용유발효과 약 919명 등이 나타날 것으로 분석하였다(윤익로 외, 2018).

이러한 경제적 파급 효과 이외도 자율운항선박의 도입은 해양환경, 선박설계 및 운항기술, 선박 안전 및 관리, 선원의 고용 및 교육, 윤리, 사고 책임 및 보험, 항만관리, 유인과 무인화 선박관리, 선원 관리, 선박 서비스, 물류체계 분야의 패러다임의 변화를 이끌 것으로 예상된다. 그 중에 자율운항선박의 선원 인력 변화와 관련하여 향후 정보통신기술(ICT)을 기반으로 한 새로운 분야의 일자리 창출은 기존의 전통적 유인선박의 선원의 일자리를 축소시킬 가능성이 크기에 전 세계 선원인력시장에는 큰 변화를 가져올 것으로 예상된다(김경석, 2018; 박진수, 2018; 전영우, 2018; 윤익로 외, 2018). 장기적 관점에서 자율운항선박의 도입은 기존의 해양 산업의 새로운 비즈니스 모델을 만들어 갈 것이다.

해양 인력 시장의 변화와 더불어 해양 산업 비즈니스 변화는 궁극적으로 선원에게 직·간접 영향을 미칠 것으로 분석된다. 선원을 대상으로 한 설문조사(D' agostini 외, 2017)에 의하면 많은 한국 선원들은 자율운항선박의 상용화의 실현 시기를 향후 10년에서 20년 이내에 운용될 것으로 전체 응답자 중 43.7%가 답하였다. 5년에서 10년 이내가 26.1%으로 가까운 미래라고 예상하지는 않았다. 자율운항선박의 기술을 주도적으로 이끌고 있는 Kongsberg, Rolls-Royce 또는 우리나라의 민간 산업체의 주요 계획에 따르면 2035년 정도에는 완전자율선박의 상용화를 이룰 것이라는 목표를 수립·추진하고 있어 선원들을 포함한 해양인력이 고려하고 있는 자율운항선박의 실현 시기와는 다소 차이가 있다.

자율운항선박의 단계별 등장과 확산 시기는 선박 장치의 개발, 대출력 전기 추진 동력원의 개발 여부 및 경제성 있는 새로운 자율운항선박의 비즈니스 모델의 개발 여부에 따라 영향을 받다는 주장도 있다(전영우, 2018). 동 연구에 따르면 자율운항선박의 등장은 현재부터 시작하여 2020년부터는 감소된 선원에 의해 운항되고 점차 무인화 되어 2035년에는 완전 무인자율선박으로 발전해 나갈 수 있다고 하였다. 타 연구와 달리 동 연구에서는 자율운항선박에 대한 시

바업, 해양건설업, 해운항만물류업, 해양수산물기 및 장비제조업, 조선업, 해양수산서비스업, 해양수산물공공활동, 해양레저관광업, 해양환경업으로 분류함.

장의 검증 기간과, 현존선의 대체 기간을 고려, 결과적으로 자율운항선박의 확산 시기는 좀 더 늦추어 지게 될 것으로 예측하였다. 이 연구는 자율운항선박의 도입 단계별로 산업에서 필요로 하는 인력에 대한 교육을 준비하기 위한 적절한 시기를 가늠할 수 있게 한다.

미래의 자율운항선박은 관련 산업 구조의 혁신적 변화를 가져올 것이며 인간 중심의 산업 구조에서 자동화 및 무인화로 변화되는 패러다임은 우리나라 전체 산업에 상당한 영향을 미칠 것으로 전망되고 있다(박한선, 2018). 그러므로 급변하는 미래에 적절히 대비하기 위해서는 향후 어떠한 인력이 어느 정도의 규모로 육성되어야 하는지에 대한 연구, 특히 선원의 일자리 축소 규모와 새로운 산업에서의 일자리 창출이 해양산업에 어떠한 인과관계, 파급효과 및 영향을 미칠 것인가에 대한 분석이 필요하다. 따라서 자율운항선박의 도입에 따른 적당 고용유발효과와 그 발생 시기, 증폭되는 시기 및 선원의 일자리 감소를 반영했을 때 그 차이가 극대화 되는 시기를 예측해 볼 필요가 있다.

기술의 발전과 그 기술을 산업으로의 도입 및 활용할 때, 그 기술발전과 균등한 비율로 산업이 발전하지는 않는다. 기술의 발전은 처음에는 미약하더라도 'S' 자 형태로 발전하게 되는 것이 일반적이다. 처음에는 완만하게 시작하고 그 기술을 사용하는 산업으로의 진입은 낮은 수준에 머물다가 그 기술에 대한 산업의 활용도가 높아지면서 기술은 확산되고 도약하게 된다. 그 시점부터 기술은 급격히 발전하다가 다시 기술의 변화가 완만해지는 현상을 볼 수 있다. 자율운항선박의 산업계 활용은 현재 미미한 수준이나 그 기술의 정도가 어느 일정 수준이 되고 산업에 활발하게 활용되기 시작하는 '증폭시기' 를 거치는 동안 인력 시장에도 많은 영향을 미칠 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 자율운항선박의 기술 발전 유형에 따라 해양산업의 인력 규모와 구조의 변화를 파악하고, 새로운 변화에 대한 교육적, 제도적 및 정책적 시사점을 도출·제시함으로써 이해관계인이 적절히 대비책을 마련할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

특히 기존에 유지되어 왔던 선박 건조 및 기기, 장비 제조업 등은 기술 산업이면서 또한 노동 집약적 산업이다. 이러한 산업의 중심이 점차 ICT 기반의 지

능정보기술을 기반으로 한 빅데이터 및 자동화 기술 기반의 스마트 생산체계로 전환될 수 있다. 또한 선박은 소수의 선원에 의한 운항에서 점차 무인 선박으로 운영되고 나아가서는 육상의 관제센터에서 선박을 관리·운영하게 될 것으로 예상된다. 해운항만물류 산업에서도 인공지능에 의한 고도의 컴퓨터 시스템화, 인공지능, 해운 전문 사이버 보안 기술 및 컨설팅, 데이터 전문 공급 업체, 자율운항선박 관련 선박관리 및 통합 스마트 서비스 제공, 화물 자동 환전 및 연계 솔루션 등의 새로운 서비스업, 자율운항선박을 활용한 새로운 해운비즈니스 모델이 만들어질 전망이다(박한선, 2018; 윤익로 외, 2018)

그러므로 이 연구에서 제시하는 선원의 일자리 감소와 관련 산업의 새로운 일자리 창출에 의한 인력시장의 규모와 구조에 변화에 대해 분석한 결과는 선원국이자 선주국인 한국이 향후 미래해양산업에 적절히 대응하는데 있어 참고가 될 수 있을 것을 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 선원 인력 시장의 다양한 외부 변수에 대한 복합적인 인과관계와 영향력을 분석하기 위하여 이론적으로는 시스템 다이내믹스 (System Dynamics, SD) 기법을 활용하였고, 방법론으로는 Powersim Studio 10을 적용하여 자율운항선박의 기술적 발전에 따른 해양산업의 인력 구조 및 규모에 대한 동태적 변화를 분석하였다.

시스템 다이내믹스를 사용한 목적은 해양산업의 인력 규모와 관련된 변수를 정의하고, stock-flow 다이어그램을 통해 인력 규모의 증가와 감소 등의 상관관계를 통해 다양한 각 변수들을 반영한 변수간의 연속적 결과를 도출할 수 있기 때문에 연구방법으로 선택하였다. 새로운 기술의 발전과 활용으로 인해 산업 인력의 규모 변화를 정량적으로 표현하고, 변화 증폭 시기를 시각화 하여 설명할 수 있다는 장점이 있다.

따라서 본 연구는 시스템 다이내믹스를 사용하여 자율운항선박의 기술을 4가지의 다른 형태로 발전하는 것으로 정의하고, 그 발전 과정은 초기 발전형, 기

간 비례형, 중반기 발전형 및 후반기형으로 구분하였다. 2035년까지 자율운항선박의 기술발전 수준에 따른 선복량 증가를 예측하고, 감소되는 선원의 일자리 수를 시뮬레이션 하였다. 또한 윤익로 외(2018) 연구 자료⁴⁾에서 제시된 척 당 취업유발효과를 적용하여 자율운항선박기술수준에 따른 신규 일자리의 규모변화를 시뮬레이션 하였다. 더불어 4개의 시나리오별로 분석된 선원 일자리 감소와 신규 창출된 일자리의 규모의 동태적 변화를 비교하였다. 이러한 시뮬레이션 모델의 유효성은 최적화(Optimization)와 리스크 관리(Risk Management)를 적용하여 검증하였다. 결과적으로 예측된 전통적 유인 선박의 선원 일자리 규모 변화와 새로운 일자리의 규모 변화를 토대로 연구결과 및 시사점을 제시하였다.

본 논문의 연구 목적을 달성하기 위해서 이 논문은 다음과 같이 전체 5장으로 구성하였다.

먼저 제1장은 본 연구의 배경 및 목적, 연구의 범위 및 방법을 기술하였다.

제2장에서는 자율운항선박의 정의와 자율화 등급을 포함하여 최근의 세계 자율운항선박의 기술개발 현황 및 계획, 기술 동향에 대한 정보를 기술하였다. 더불어 우리나라 정부와 민간에서 진행하고 있는 자율운항선박의 기술 동향에 대해 정리하였다. 동 연구와 관련하여 자율운항선박의 도입 시 선원의 채용과 고용에 있어 관련된 기존의 선행연구들을 분석하였다. 더불어 선원의 취업과 고용에 있어 시스템 다이내믹스를 통해 연구한 선행연구들의 내용을 조사하고 분석하였다.

제3장은 시스템 다이내믹스 소프트웨어 Powersim Studio10을 통해 연구의 인과지도, stock-flow diagram을 작성하였고, 자율운항선박의 기술발전에 따른 선원의 일자리 변화와 관련 산업의 신규 일자리 창출의 동태적 변화를 시뮬레이션 하였다.

제4장 실증 분석 및 결과에서는 앞에서 시뮬레이션하고 분석된 내용을 요약 정리하였다. 시나리오 별 데이터의 시사점과 시스템 다이내믹스를 활용하여 기

4) 윤익로 외(2018), 자율운항선박 기술영향 평가 결과, pp. 50-51.

존의 연구와의 차별성에 대해 언급하였다.

마지막 장인 제5장에서는 자율운항선박의 도입으로 인한 해양산업의 일자리의 질적·양적 동태적 변화에 대해 요약 및 시사점을 제시하였다. 또한 시뮬레이션 모델링을 구축하면서 연구의 한계를 설명하였고, 향후 동 연구와 관련한 추가적인 연구 과제를 기술하였다.



제 2 장 이론적 고찰

2.1 자율운항선박

2.1.1 자율운항선박의 정의

앞서 설명한 것처럼 자율운항선박은 무인선박(Unmanned ship), 원격조정선박(Remote ship), 자동화선박(Autonomous ship) 등의 여러 명칭으로 사용되었고, 이러한 무인선박은 기술적 분류에 따라 원격조종선박, 자동화선박, 자율운항선박으로 나누고 있다(임요준과 이윤철, 2018). 최근 우리나라에서는 정부 주도의 프로젝트에서 착안되어 ‘Smart Ship’이라는 명칭으로도 불리고 있으며 올해 국제해사기구(IMO)의 해사안전위원회(MSC)에서는 자율운항선박을 ‘Maritime Autonomous Surface Ship(MASS)’이라는 통일된 명칭을 사용하기로 합의되었다. 동 위원회에서는 자율운항선박을 ‘다양한 자동화의 수준으로 사람의 간섭 없이 독립적으로 운용될 수 있는 선박’으로 정의하였다(IMO, 2017; 박한선, 2018; 박혜리 외, 2018; 윤익로 외, 2018).

“MASS could include ships with different levels of automation, from partially automated systemed systems that assist the human crew to fully autonomous systems which are able to undertake all aspects of a ships’ operation without the need for human intervention.”

국제해사기구(IMO) 이외에도 자율운항선박에 대한 정의와 개념은 다양하게 해석되어 왔다. 유럽의 MUNIN 프로젝트⁵⁾는 자율운항선박을 그림 1과 같이 원격운항과 무인자동화가 혼합된 형태라는 개념을 제시하였다.

5) MUNIN(Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks), www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomous-ship, 2018.01.28. 검색.

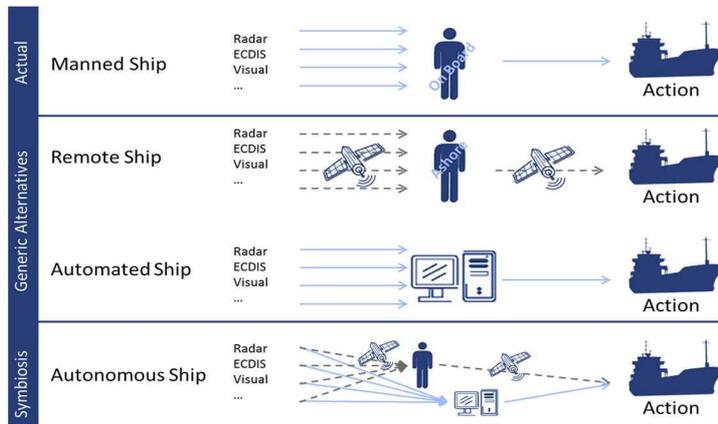


Fig. 1 MUNIN의 자율운항선박 개념도

MUNIN에서 개발하고자 하는 자율운항선박의 운항 방식은 예기치 않은 상황을 제외하고 자동항해(Automatic) 또는 사전에 지정된(Deterministic) 기능으로 선박을 운영하는 것으로 하였다. 따라서 충돌의 위험이 있는 상대선박이나 해상의 악천후와 조우하였을 때에도 선박은 자동적으로 문제를 해결하고, 만약 적절한 대처가 불가능할 경우에 한하여 육상의 관제센터(Shore Control Centre)에 지원을 요청하는 것으로 그림 2와 같이 고안되었다(MUNIN, 2016; 한국정보화진흥원, 2016).

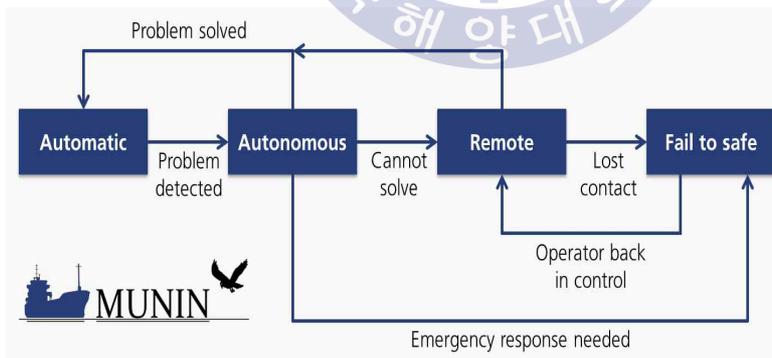


Fig. 2 MUNIN의 자율운항선박의 운항 방식

다양한 명칭으로 소개된 자율운항선박의 공통적인 정의를 도출해보면 자율운항선박은 인적요인의 개입 없이 운항되는 자율적 의사결정시스템이 탑재된 선박으로 볼 수 있으며 표 1과 같다.

Table 1 자율운항선박에 대한 정의 비교

기관	정의
국제해사기구 (IMO)	수면 상에서 운항하는 선박을 대상으로 사람의 개입 없이 운항하는 완전 자율운항시스템과 부분적 자동시스템을 포괄
유럽연합 (EU)	육상 선박 운항관리자의 관리와 감독 및 지시를 받지 않고 온전히 독립적으로 운항되는 하이브리드형 스마트 선박
영국선급 (LR)	시스템은 항해 및 운항과 절차와 위험성 평가와 관련하여 전체적으로 결정하고, 사람의 개입 없이 시스템이 주변적 상황에 대한 분석을 기반으로 운항함
미국선급 (ABS)	인적인 중재 없이 다양한 센서 장비들과 자동화된 항법장치, 추진장치, 기타 보조 장치들을 갖추고 있어 주변 환경을 스스로 감지하는 시스템을 가지고 있는 해양 선박
프랑스 선급 (BV)	스마트 선박과 동일한 기능을 갖추고 인적 여부에 관계없이 의사결정 및 상황에 따른 조치를 수행할 수 있는 자율시스템을 포함하는 선박
영국 왕립 선박협회	항해와 관련된 업무 처리와 엔진 제어 업무의 처리가 자동화된 시스템
Waterborne TP ⁶⁾	차세대 통신장비 및 통합제어시스템이 선박과 육상에 모두 설치되어 있으며 선박운항자의 운항 행위 없이 선박 통제 제어시스템에 의존하여 운항되는 선박
MUNIN Project	자율운항선박은 원격운항과 무인자동화가 혼합된 형태라고 정의

자료: 박한선(2018), 한국의 자율운항선박(MASS) 대응정책 방향
 박혜리, 박한선, 김보람(2018), 자율운항선박 도입 관련 대응정책 방향 연구
 윤익로 외(2018), 자율운항선박기술영향평가 결과
 임요준, 이윤철(2018), 자율운항선박과 IMO 협약의 쟁점이 해사법제에 주는 시사점
 전해동(2018), 자율운항선박의 책임제도에 관한 법적 고찰

6) Waterborne TP(Waterborne Technology Platform).

2.1.2 자율운항선박의 기술 수준 및 자율화 등급

선박의 무인과 유인, 그리고 원격조종선박, 자동화선박 및 자율선박의 구분은 선박 운항에 있어서 자율화 등급(Level of autonomy)에 의해 나뉘고 있다(임요준과 이윤철, 2018).

자율운항선박의 자율화 등급은 영국선급(Lloyds Register, LR)에 의해 정의(DTU, 2017; Lloyds Register, 2016, 2017b)되었고, 대체로 선박설계 및 선박 운영을 다루는 ‘자율수준’을 의미(박혜리 외, 2018)한다.

영국선급은 자율선박을 AL 0부터 AL 6을 포함하는 총 7단계로 구분하였다. 자율화 등급과 내용에 따라 운항자의 역할을 제시(Lloyds Register, 2016)하고 원격 작동에 대한 특별한 주의를 설명하고 있다(Lloyds Register, 2017b). 이러한 영국선급의 자율화 단계의 정의는 선박 설계자, 조선소, 장비 제조업체 및 선박의 운영 및 유지 보수에 대해 원하는 수준의 자율성을 정확하게 설정하는데 있어 도움이 된다.

Table 2 영국선급(LR) 자율화 등급

자율화 단계(Autonomy Level)와 정의			
자율화 등급	내용	운항자의 역할	
AL 0	수동 제어	항해 조종 또는 경로의 목적지를 수동적으로 다룸	운항자는 승선 또는 원격으로 선박을 조종함
AL 1	선내 의사결정 지원	일정과 설정 자료에 따른 자동적 항해와 선내 센서에 따른 경로 및 선속을 측정함	운항자는 침로 설정 및 속도를 결정하며, 필요시 침로 및 속도 모니터링을 통한 변경작업 가능
AL 2	선내 또는 육상의 의사결정 지원	목적지 순서를 통한 경로 항해와 경로는 계획된 일정에 따라 계산되며, 외부적 시스템은 새로운 일정을 등록할 수 있음	운항자는 운항 상황과 주변 환경을 모니터링하고 침로와 속도 변경 등을 위한 제안을 알고리즘에 의해 제공

AL 3	모니터링 수 운영자에 의해 승인	시스템은 선박, 주변 상황에 대한 센서 정보를 기반으로 항해 조치 사항을 추천함	운항자는 시스템 기능 및 동작을 모니터링하며, 수행될 조치를 사전에 승인
AL 4	모니터링 후 필요에 따라 개입	항해 결정과 운항 조치는 운항자가 승인한 시스템 계산을 기반으로 시스템이 실행함	운항자는 시스템 동작을 모니터링하며 수정조치를 취함
AL 5	감독받는 자율 (필요시 개입)	시스템이 항해 및 운항과 절차와 위험성 평가와 관련하여 전체적으로 결정하고 센서는 주변 관련 정보를 감지하고 시스템은 현재 상황을 해석하며 조치와 실행을 진행함. 운항자는 확실한 상황인 경우 결정을 변경함	시스템은 계산된 작업을 수행하며, 조치에 대한 해석이 확실하지 않은 경우 운항자에게 경고함. 일반적으로 운항자에 의해 결정되고 육상에서 모니터링 됨
AL 6	완전한 자율	시스템은 항해 및 운항과 절차와 위험성 평가와 관련하여 전체적으로 결정하고, 조치와 주변적 상황에 대한 분석을 기반으로 실행함. 과거와 전형적 상황에 대한 주변 지식은 기계 학습을 통해 인수 분해됨	시스템은 통신상황을 예측하여 결정하며, 시스템이 조치하지 못하는 경우 운항자에게 경고함 육상에서는 모니터링을 수행함

자료: Lloyds Register(2016), Cyber-enabled ship: ShipRight procedure-autonomous ship
박혜리, 박한선, 김보람(2018), 자율운항선박 도입 관련 대응 정책방향 연구
한국해양수산개발원(2018), 자율운항선박, 침체된 해운산업 및 조선 산업의
새로운 성장 동력
임요준, 이윤철(2018), 자율운항선박과 IMO 협약의 쟁점이 해사법제에 주는 시사점

Rolls-Royce사의 자율화 수준 정의는 표 3과 같이 자율화 등급을 선박의 대처
과정에 따라 인적요인 개입 유무와 시스템에 의한 가동 여부를 구분하여 정의
하고 있는데, 이는 기술적 수준을 구분의 준거로 하고 있다고 평가된다.

Table 3 Rolls-Royce의 자율화 등급

선종	자율화 등급	상황인지	상황분석	의사결정	대응조치
유인 선박	0	Human	Human	Human	Human
	1	System/Human	Human	Human	Human
스마트 선박	2	System	System/Human	Human	Human
자율운항선박	1단계	3	System	System	System/Human
	2단계	4	System	System	System
	3단계	5	System	System	System

자료: 임요준, 이윤철(2018), 자율운항선박과 IMO 협약의 쟁점이 해사법제에 주는 시사점

영국선급(LR)와 Rolls-Royce사와 달리 국제해사기구(IMO)에서는 표 4와 같이 자율운항선박의 운용 관련 규정 검토에서 자율화 등급을 4단계로 구분하였으며 등급 분류의 기준은 인적요인 개입 유무와 운항을 위한 자립적 결정력이지만, 이는 법제도와 연결된 선원의 승무수준과 승무여부를 그 구분의 준거로 하고 있다고 생각된다.

Table 4 IMO 자율화 등급

단계	자율화 등급	정의
Manual Ship	자동화된 프로세스 및 결정 지원 시스템을 갖춘 선박	일부 기능에 대해 자동화 운용이 가능하지만 대부분은 선원이 승선하여 운용 및 시스템과 기능을 제어함
Remote Ship	원격제어가 가능하며 선상의 선박이 승선하는 선박	선박이 다른 장소로부터 제어 및 운영되고 있지만 선원은 승선하고 있음
Monitoring Ship	원격제어가 가능하며 선상에 선원이 승선하지 않는 선박	선박이 다른 장소로부터 제어 및 운영되며 선원이 승선하지 않음
Autonomous Ship	완전자율운항이 가능한 선박	선내 운용시스템으로 자체적 결정 및 조치가 가능한 선박

자료: IMO MSC 99/WP.9(2018b), Framework for the Regulatory Scoping Exercise
 박한선(2018), 한국의 자율운항선박(MASS) 대응정책 방향
 박혜리, 박한선, 김보람(2018), 자율운항선박 도입 관련 대응 정책방향 연구

프랑스 선급(BV)은 자율화 등급이 시스템의 다양한 기능에서 속에서 인간의 역할과 시스템의 역할 사이를 구별하도록 정의 되어야 한다고 주장한다. 이러한 기능들은 인간의 정보처리 절차의 4단계 모델을 기반으로 하며 이것과 동등한 시스템적 기능으로 변환될 수 있다. 일반적으로 사람의 정보처리 4단계 모델은 정보 수집(Information acquisition), 정보 분석(Information analysis), 의사결정과 조치(Decision and action selection) 및 조치의 이행(Action implementation)이다. 4단계의 정보처리 모델은 자동화가 인간을 지원할 수 있는 작업 유형에 대해 기초적인 범주를 설정하게 해주며, 높은 수준의 자율화 등급에서는 시스템 오류의 영향이 우세할 수 있으나 낮은 수준의 자율화 등급에서는 인적 오류의 영향이 높을 것으로 검토하였다(BV, 2017).

Table 5 프랑스 선급(BV) 자율화 등급

단계	자율화 등급	정보수집 (Acuisition)	정보분석 (Analysis)	의사결정 (Decision)	조치 (Action)
0	선원이 운항함	System Human	Human	Human	Human
1	자동화된 프로세스 및 결정 지원 시스템을 갖춘 선박	System	System Human	Human	Human
2	원격제어가 가능하며 선상의 선박이 승선하는 선박	System	System	System Human	Human
3	원격제어가 가능하며 선상에 선원이 승선하지 않는 선박	System	System	System	System Human
4	완전자율운항이 가능한 선박	System	System	System	System

자료: BUREAU VERITAS(2017), Guidelines for Autonomous Shipping

박한선(2018), 한국의 자율운항선박(MASS) 대응정책 방향

박혜리, 박한선, 김보람(2018), 자율운항선박 도입 관련 대응 정책방향 연구

IMO를 비롯하여 자율운항선박의 자율화 등급은 인적요인의 개입 유무와 선박

의 자동화에 따라 분류되고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 IMO는 4개의 등급, BV는 5개의 등급으로, LR은 7개의 등급으로 분류하고 있는데 이를 비교 정리하면 아래 표 6과 같다.

Table 6 자율운항선박의 자율화 등급 비교

자율화 단계	국제해사기구(IMO)	프랑스선급(BV)	영국선급(LR)
0	-	선원 승선	선원 승선
1	일부 자동화 및 의사결정지원 선박	사람에 의한 지시	의사결정지원
2	선원 승선+원격제어	사람에 의한 위임	선박 또는 육상의 의사결정지원
3	선원 미승선+원격제어	사람에 의한 감독	운항자에 의한 실행 - 시스템 기능 및 동작 모니터링, 승인
4	완전자율선박	완전자율선박	운항자에 의한 실행 - 시스템 동작을 모니터링 및 개입
5	-	-	감독 하 자율선박
6	-	-	완전자율선박

2.1.3 자율운항선박의 등장

자율운항선박은 시초는 군사용 무인선(Unmanned Surface Vehicle, USV)으로 제2차 세계대전 직후 기뢰제거, 방사능 오염 검사, 단순 반복적인 임무 등 소위 3D(Dangerous, Dirty, Dull)임무를 수행하는 데 주로 활용되었다(김선영, 2017; 윤익로 외, 2018; 장경석, 2018). 최초의 무인선은 제2차 세계대전 노르망디 상륙 작전을 위해 1944년 캐나다에서 연막전술을 위해 개발하였으나 실전에 사용되지 못했다. 그 후 1954년 미해군은 원격 기뢰소해 작업을 위해 무인선을 개발하여 최초 실전에 운용하였다. 최근에 기술발전으로 힘입어 무인선의 군사용으로

로 활용분야는 전통적인 기뢰소해나 표적운용에서 벗어나 정찰, 감시, 전자전, 특수 작전 등으로 점차 확대되어 개발되고 있고, 국내에서 최초로 개발된 무인선은 아래 그림 3과 같은 ‘천리안(2009년 개발)’ 이다(최중락, 2014).

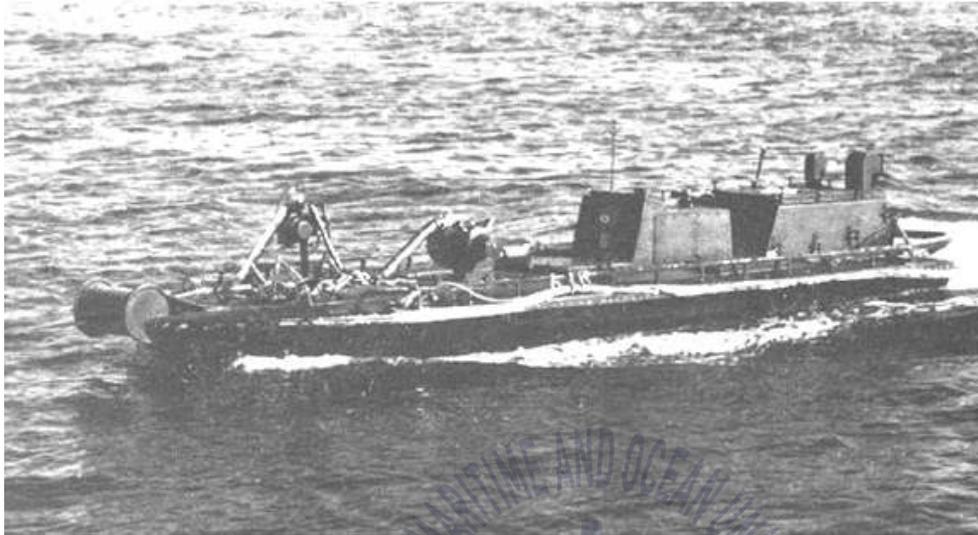


Fig. 3 미국 최초의 기뢰소해(Minesweeping) 무인선

2000년대에 들어서면서 과학기술의 발달로 군사용 무인선 이외에 과학 조사 및 항만 감시 등 민간 산업 분야에서 무인선의 기술 개발이 활발하게 이루어진다. 또한 2010년대에는 보다 발전한 정보통신 기술과의 융합으로 보다 다양한 첨단기술의 적용이 가능하게 되었으나 개발된 과학기술을 실제로 적용하는 것은 안전성과 경제성 문제로 지연되는 경우가 많았다.

그러나 2010년 이후 최근 유럽 특히 노르웨이, 핀란드, 영국 등을 중심으로 한 기술 개발이 활발해 지면서 자율운항선박의 등장이 멀지 않을 정도로 과학기술의 진보를 보이고 있다(윤익로 외, 2018).

2.2 자율운항선박 기술 현황 및 전망

유럽을 중심으로 자율운항선박에 대해 선도적인 기술 개발이 진행되고 있으며 최근에 일부 국가나 민간업체에서는 자율운항선박의 테스트 베드가 성공적으로 수행되었다. 아시아에서도 일본과 중국은 정부 주도로 자율운항선박의 기술 개발에 대해 집중하고 있으며 다수의 자율운항선박을 대거 수주한다는 계획을 가지고 있다.



Fig. 4 자율운항선박의 국가별 주요 동향

자료: 한국선박전자산업진흥협회(2018), 자율운항선박의 미래.

2.2.1 글로벌 자율운항선박 기술 현황 및 전망

(1) 유럽연합(EU)

자율운항선박의 기술 개발을 주도하는 곳은 유럽연합(EU)이다. 유럽연합은 2013년부터 480만 달러 규모의 프로젝트 MUMIN⁷⁾을 추진하였으며 MUNIN은 EU

에 의해 지원되는 공동 연구 프로젝트로 현재 Fraunhofer CML, MARINTEK, Chalmers, Hochschule Wismar, Aptomar AS, MarineSoft, Marorka ehf, University College Cork와 함께⁸⁾ 연구 개발 중이다. 아래 그림 5는 MUNIN 프로젝트의 로드맵으로 자율운항선박의 개발과 개념에 대한 검증을 추진하였다. 무인선의 모든 기능을 어느 수준까지 자동화 할 수 있는지를 파악하고자 하는 것이 연구의 기본적인 목적이며 기간에 따라 선원의 수를 최소화하여 궁극적으로 완전한 무인화 선박이 운항되는 것을 목표로 추진하고 있다. 또한 무인선의 운용을 위한 기술적, 법적, 법적 타당성을 평가하고(박혜리 외, 2018), 자율운항선박의 수요 조사, 설계와 디자인까지 포함하는 프로젝트이다(MUNIN, 2018).

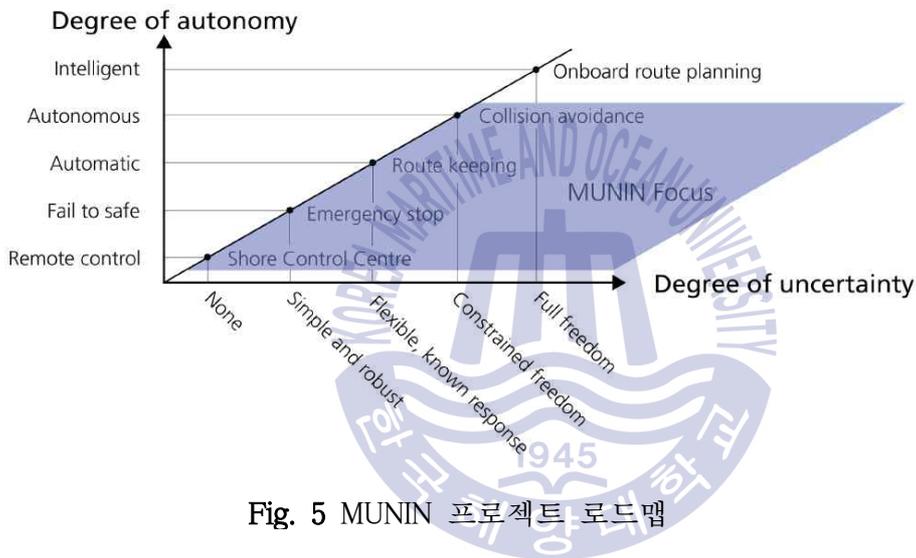


Fig. 5 MUNIN 프로젝트 로드맵

자료: MUNIN(2018), 홈페이지 및 재인용(한국정보화진흥원, 2016)

유럽연합은 이 프로젝트로 회원국의 자율운항선박 개발과 적용을 촉진하고 세계 자율운항선박의 기술을 주도한다는 것이 목표이다. 자율운항선박의 기술

7) Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence in Networks.

8) MUNIN(2018), <http://www.unmanned-ship.org/munin/partner>, 2018.09.05. 검색.

을 유럽연합 연안을 항해하는 중소형 선박을 대상으로 2020년까지 시범 적용하고, 2025년 이후에는 대형 선박에 적용, 벌크선을 중심으로 한 원양 구역 항해선으로 확대하여 추진할 계획이다.

(2) 영국 - Rolls-Royce

영국 선박 및 항공에 사용되는 엔진 제조업체 Rolls-Royce는 자율운항선박의 기술개발에 선도적인 민간업체 중 하나이다. 자체적으로 무인선 개발 프로젝트를 수행할 뿐만 아니라 여러 대형 연합 프로젝트에도 참여 중이다. Rolls-Royce의 장기 로드맵은 항해구역, 자율수준과 실현 시기 그리고 선원의 유무 등의 4단계로 구분하여 아래 그림 6과 같이 개발을 추진하고 있다.



Fig. 6 Rolls-Royce의 장기 로드맵

자료: Rolls-Royce Smartship Roadmap, 재인용(한국정보화진흥원, 2016; 윤익로 외, 2018)

(1단계) 육상에서의 원격지원을 통해 선원의 수를 감소(~2020년)

(2단계) 근해에서 원격제어를 통한 무인선 개발(~2025년)

(3단계) 원해에서 육상의 원격제어를 통한 무인선 개발(~2030년)

(4단계) 원격제어 없이 스스로 운항하는 무인 자동차 선박(~2035년)

최근에 Rolls-Royce는 2017년 6월 코펜하겐에서 글로벌 예인선 운영사인 Svitzer사의 예인선(그림 7)을 원격조종하는 첫 번째 테스트를 성공적으로 마쳤다. (Henriette, 2017; Kevin, 2017). 시범 운항은 코펜하겐 항의 안벽을 따라 선박을 정박시키고 360도 회전하여 안벽을 따라 원래 출발 위치로 회항하는 짧은 시범 운항이었지만 첫 상업용 선박의 운항 사례이다(Ibid).

첫 번째 테스트 후 Rolls-Royce는 2017년 10월 구글(Google)과 선박 자동운항을 위한 기술협력 양해각서를 체결하였다. 또한 롤스로이스는 위성통신업체 인마렛(Inmarsat) 등을 비롯한 다양한 자율운항 관련 기업들과 협력을 지속하고 있으며 ‘무인선박개발프로젝트(Advanced Autonomous Waterborne Applications, AAWA)에 참여하고 있다(박혜리 외, 2018).



Fig. 7 세계 최초 원격조종 선박인 Sviter Hermod호

특히 Rolls-Royce는 구글(Google)의 신경 네트워크 기반 기기 정보 소프트웨어인 클라우드 머신러닝 엔진(Cloud Machine Learning Engine)을 이용, 선박 운항 중 접촉할 수 있는 물체를 탐지하고 식별할 수 있도록 인공지능(AI) 기반으로 물체 분류 시스템을 개발할 예정이다(이경성, 2018; 박혜리 외, 2018). 또한, 2020년 말까지 원격조종 기술을 상용화할 방침을 내세우고 있으며, 소수의 선원이 승선하는 선박에서 2025년에는 내항·근해선 무인화, 2030년에는 원양선박의 완전한 무인선박을 목표로 연구를 추진하고 있다(장경석, 2017; 박혜리 외, 2018).

(3) 노르웨이

자율운항선박의 기술 주도국의 하나인 노르웨이는 콩스버그(Kongsberg)와 야라 인터내셔널(Yara International)의 컨소시엄은 최근 테스트 베드를 통한 실증에 성공하였다. 콩스버그(Kongsberg)와 야라 인터내셔널(Yara International)은 2019년 원격조종 단계를 거쳐 2020년까지 완전한 자율운항선박을 선보이겠다고 발표했다. 또한 노르웨이는 트론헤임(Trondheim)뿐만 아니라 호르텐(Horten), 트롬쇠(Tromsø) 등 다양한 지역에 테스트 베드를 구축해 적극적인 실증을 추진하고 있다(윤익로 외, 2018).

콩스버그(Kongsberg, 2018)에 따르면 현재 진행 중인 자율운항선박 이름은 야라 버클랜드(Yara Birkeland)로 120TEU, DWT 3,200mt 규모로 설계되었으며, 2018년 하반기에 개발을 끝내고 2020년 상용화를 목표로 하고 있다. 해당 선박은 계획대로 진행된다면 세계 최초로 상용화된 전기로 움직이는 친환경 선박으로 질소산화물 배출량을 크게 줄일 것으로 예상하고 있다⁹⁾. 또한 같은 크기의 유인 컨테이너 선박에 비해 건조 비용이 약 3배 정도 증가된 약 2,500만 달러 추정(초기건조비용)을 예상하고 있지만, 연간 운영비의 90%가량을 절감할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

9) Kongsberg, Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland, <https://www.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument>, 2018.05.15. 검색.

또한 2019년에는 노르웨이 호르텐(Horten)의 테스트 베드에서 진행되는 시범 운항에는 소수의 선원과 선장이 승선할 예정이며 육지에서 원격조정을 테스트 하게 된다. 2020년에는 사람이 개입하지 않고 스스로 움직이는 완전한 자율운항시스템으로 운항한다는 계획이다(장경석, 2018).

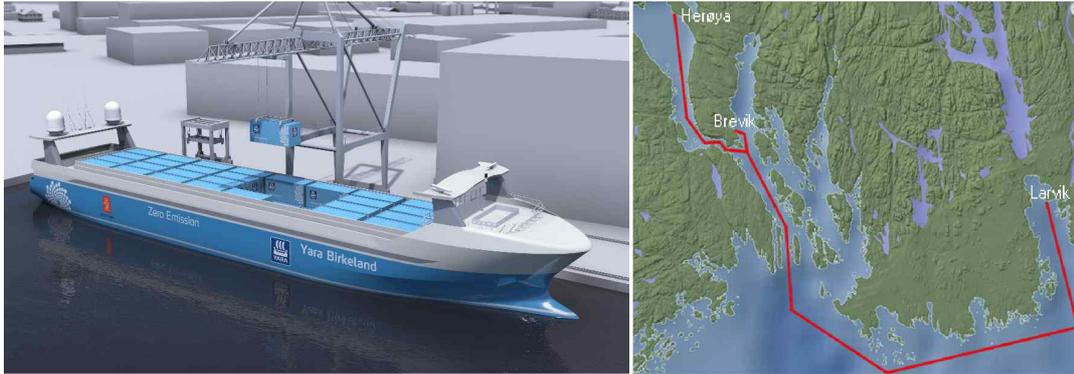


Fig. 8 아라 버클랜드호(좌), 운항경로도(우)

자료: Kongsberg 홈페이지

(4) 핀란드

핀란드 기술혁신청은 Rolls-Royce, 인마셋(Inmarsat), 노르웨이·독일선급(DNV·GL), 핀란드 국가기술연구센터(VTT)¹⁰⁾ 등 약 10개 기관이 주도하여 함께 진행하는 다국적 프로젝트 AAWA(The Advanced Autonomous Waterborne Applications)에 대해 660만 유로의 자금을 지원하고 있다. 해당 프로젝트는 차세대 자율운항선박의 설계 및 명세 도출을 목표로 2020년 상업용 원격조종 선박을 개발, 2035년 완전 무인자동화선박 개발을 목표로 수행하고 있다. 2016년에는 기술, 경제, 안전, 법적인 측면을 검토하여 타당성에 대한 1단계 결과 백서를 발표하였다. 또한, 2017년 말까지 프로젝트를 구체화하기 위한 명세를 개발하는 데 주력하였다(윤익로 외, 2018).

10) 핀란드 국가기술연구센터(Technical Research Centre of Finland Ltd).

(5) 중국과 일본

장경석(2018) 및 박혜리 외(2018)에 따르면 일본 최대 해운회사 NYK는 산하 연구기관인 모노하코비 기술연구소의 주도하에 자율주행 컨테이너 선박을 대상으로 기술 개발 중이며, 일본과 북미노선에 오는 2019년에 시범 운항할 계획이다. 이를 위하여 NYK는 레이더 생산업체 후루노(FURUNO)를 비롯하여 통신장비 재팬라디오(Japan Radio), 도쿄 케이키(Tokyo Keiki) 등과 기술적 협력을 통하여 자율운항선박의 충돌방지 시스템 등 선박의 주요한 성능 기술 연구를 추진하고 있다. 또한 NYK를 비롯하여 일본의 해운선사와 조선소들은 2025년까지 자율운항 화물선 250척을 건조하겠다는 목표로 협업하여 공동 개발을 진행 중이다.

최근 NYK Line(2018) 보도에 따르면 일본 국토교통성에서 주관하는 선박원격 제어 기술개발의 시범사업에 NYK를 비롯한 Keihin dock, Japan Maritime Science사가 선정되었다고 한다. 이 시범 사업은 2025년까지 자율운항선박의 실용화를 목표로 연구 중에 있다. 현재까지 NYK Line은 해상 장비 제조업체 및 파트너와 협력하여 승무원을 지원할 수 있는 유인 원격 제어 시스템을 개발하였다. 이러한 시스템은 선박 주변의 정보를 수집, 통합 및 분석하고, 행동 계획을 준비하며, 원격 위치 또는 선상에서 운영자의 승인을 받은 후 계획에 따라 조치를 취하는 것을 목표로 한다. 현재까지 동 연구를 수행하면서 데이터를 수집하고 일본 연안 선박과 예인선을 활용하여 시스템을 개발한 후 2019년 하반기에 무인 예인선 시범 운항을 할 계획이다.

중국은 오는 2021년 첫 무인 화물선 건조(박혜리 외, 2018)를 목표로 추진하고 있으며 ‘중국제조 2025’ 정책 분야에 스마트 선박이 선정되어 선박의 모니터링, 원격관리 및 제어 기능까지 포함된 그린돌핀(Green Dolphin, 38,800DWT 벌크선)을 2016년 9월에 착공하였다(이윤석, 2018). 선박 내외 데이터 기반의 스마트선박 생애 전 주기 솔루션, 지능형 장비 관리와 제어 등을 육성 기술로 지정하면서 세계 자율운항선박의 기술개발에 적극적으로 연구개발 중이며(장경석, 2018) 중국 내 많은 연구 기관이 협력하여 대형 프로젝트를 추진하는 등 국가적인 차원의 전략적 개발에 집중하고 있다(이윤석, 2018).

특히 중국 조선소들은 빠르게 변화하는 해운 산업의 변화에 대응하여 무인선 기술을 개발, 주도하고 조선 인력과 가격 경쟁력을 장점으로 무인자율운항선박을 대거 건조한다는 계획이다(박혜리 외, 2018). 그 중에 중국의 국영 조선소인 CSSC는 2015년에 스마트십 개발 프로젝트에 착수 후 육상에서 스마트십의 운항 상태를 확인·감독하고 제어통제까지 할 수 있는 기술 수준까지 진행되었다고 발표하였다(장경석, 2018).

Marex(2018)에 따르면 중국은 자율운항선박의 시험 운항을 위한 시험장을 광둥(Guangdong)에 건설하기 시작하였다. 이 시험장은 아시아 최초의 프로젝트이며 세계에서 가장 큰 자율운항선박의 해상 시험장이 될 수 있다고 한다. 이 프로젝트는 중국정부와 중국선급협회, Wuhan University of Technology 및 Zhuhai Yunzhou Intelligence Technology가 계획한 것으로 771 평방 킬로미터 (Square Kilometer) 면적으로 향후 3년 내지 5년 내에 완공될 것으로 예상되고 있다.

2.2.2 국내 자율운항선박 기술 현황 및 전망

(1) 해양수산부, 산업통상자원부 및 과학기술정보통신부

2018년 1월 ‘해양수산부 2018년 업무계획’을 발표하였으며, 스마트 자율운항선박 관련 지원정책은 해양수산 국제 기구의 선도, 해운·항만 전문 인력 확보 등의 일반정책 활동으로 추진(KISTEP, 2018)되고 있고, 사람과 자본이 모이는 혁신형 해양수산업을 목표 중 하나로 설정(박혜리 외, 2018)하였다. 국가물류 체계 혁신을 위해 자율운항선박과 해상통신망, 스마트 항만 등의 스마트 해상물류 체계를 구축하는 전략 마련을 구상하였다. 이를 위해 자율운항선박 개발을 위한 무인선 제작 및 R&D 추진, 해상 초고속무선통신망(LTE-M) 구축, 화물정보공유 시스템 시범 운영을 통한 신규 터미널 하역 자동화 추진을 세부 사업으로 진행하고 있다.

또한, 해양수산부는 올해 2월 세계 최대 해운사 머스크 라인((Maersk Line) 사

를 국적선사로 보유하고 있는 덴마크와 해운 분야에 대한 양해각서를 체결하였다. 향후 양국은 자율운항선박 기술개발과 선박 및 선원을 위한 전자인증서 발급 등 해상 디지털화를 공동 추진하고 이를 위한 협력체계를 강화할 계획이며, 해사분야 학생, 훈련생 및 전문가 등 인적 자원을 교류하고 관련 연구개발을 적극 지원할 계획이다. 긴밀한 협력관계 유지를 통해 덴마크의 선진적인 해사분야 국제기술 공유 및 우리나라 자율운항선박 발전을 도모하고 있다.

그 밖에도 해양수산부는 자율운항선박 운용서비스와 관련하여 빅데이터 활용 해양예측 및 관측기술 개발, 원거리 선박 식별 관리 시스템개발, 해양장비개발 및 인프라 구축 등에 주력하고 있다.

산업통상자원부는 2018년 4월 ‘제15차 산업경쟁력 강화 관계 장관회의’에서 ‘조선 산업 발전전략’을 확정 및 발표하였다. 해당 보도 자료에 의하면 조선 산업 6대 발전전략은 혁신과 상생으로 재도약하는 조선 산업, 친환경·4차 산업혁명 시대의 조선 산업, 소득 4만불 시대를 향한 질적으로 고도화된 조선 산업을 비전으로 삼았다(KDI, 2018). 특히, 발전전략 추진방안에는 자율운항·친환경 미래시장 선점 투자 확대가 선정되었다. 자율운항과 관련 기자재 및 시스템 개발을 통해 2022년까지 중형 자율운항 컨테이너선 개발과 제작을 완료하고 2023년에는 시운전 관제센터, 운항조정상황실 구축 등을 통한 항만 간 왕복운항 추진을 목표로 하고 있다. 산업통상자원부는 발전전략 추진 상황을 토대로 정기적 점검 및 조선 산업 상황변화에 따른 보완대책을 마련해 나갈 계획이라고 발표했다(박혜리 외, 2018).

2017년 12월에 과학기술정보통신부와 해양수산부, 산업통상자원부, 국토교통부, 기획재정부 등의 관계부처들은 ‘혁신 성장 동력 추진계획’을 심의·확정했다. 향후 지속 지원이 필요한 분야를 발굴하여 육성전략, 혁신 성장 동력 전주기(발굴, 지원, 평가) 관리체계 정착, 혁신성장동력 국민체감 확대의 정책과제를 도출을 논의하였다(하준철, 2017).

(2) 조선소

현대중공업은 2011년 3월 세계 최초로 무인선박의 전 단계인 스마트십을 개발한 뒤 기술개발을 지속하여 현재까지 총 200여척의 스마트십을 수주, 이 중에 80척을 인도하였다(장경석, 2018).



Fig. 9 현대중공업 통합 스마트선박 솔루션 개념도

자료: 장경석(2018), 자율운항선박의 현재와 미래.

2013년에는 해상도가 기존 제품 대비 2배 이상 뛰어난 ‘선박용 디지털 레이더(Radar)’를 국산화, 2015년 7월 선박자동식별장치(AIS), 전자해도시스템(ECS) 등 선박항해시스템과 연동해 최대 50km 밖에서 각종 위험물과 파고, 해류, 바람 등 환경적인 변수를 고려해 우회항로와 행동지침을 안내해 주는 ‘충돌 회피 지원시스템(HiCASS)’을 개발하였다(Ibid).

삼성중공업은 지난 2011년부터 선박의 운항 상태를 육상에서 감시하고 진단할 수 있는 선박포털서비스(Vessel Portal Service)를 개발하여 자사의 선박에 적용, 2011년 개발하였으며 2016년까지 30여척의 선박에 적용됐다(홍석희, 2016).

삼성중공업은 최근 통신업체인 인마셋(Inmarsat)과 협력, 육지와 선박 간 인터넷 기반의 연결성을 높이기 위한 통신기술을 추진 중에 있다.

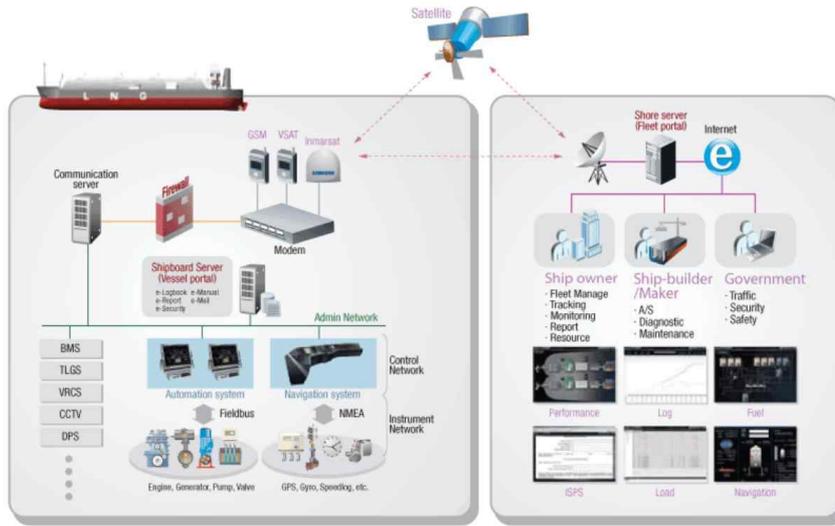


Fig 10 삼성중공업의 원격감시시스템(VPS)

자료: 장경석(2018), 자율운항선박의 현재와 미래.

대우조선해양은 선박모니터링장치[LiNGC(Locally iNtegrated & Globally Connected)]와 선박설비관리시스템(Computerized Maintenance Management System, CMMS) 기술 개발을 완료하고 자율운항선박의 실제 응용을 연구하고 있다(장경석, 2018).

대형 조선사들의 자율운항선박에 대한 개발 현황과 계획은 동 기술을 주도적으로 이끌고 있는 유럽, 일본 보다 한발 늦은 수준이며 그간 정부지원도 미흡했던 것으로 평가된다(장경석, 2017; KIMST, 2018). 이에 정부는 2016년 10월 발표한 ‘조선산업 경쟁력 강화방안’에서 선박자율운항시스템, 원격 관제 시스템, 센서 등 핵심기술 개발에 5년간 350억을 지원하기로 하였다(강미주, 2018).

2016년 12월 신산업 민관협의회에서는 선박자율운항시스템, 원격관제시스템, 센서 등 자율운항 및 스마트 모니터링 관련 핵심기술 개발을 2017년부터 2020

년까지 50억원을 지원할 것으로 결정하였다. 또한 연안선박용 항법지원·운항 모니터링 서비스 개발 및 해상초고속 무선 통신망(LTE-M)도 구축 중이며 2020년까지 1,200억원을 투입하기로 하였다(Ibid).

현재까지 우리나라 민간 부분에서 진행하고 있는 자율운항선박 관련한 기술 현황은 아래 표 7과 같다.

Table 7 한국의 자율운항선박 기술개발 현황

구분	기술개발 내용
현대중공업	1세대(Smart Ship 1.0) 개발 완료 - 선박의 운항과 기관 상태 모니터링 기술 개발 2세대(Smart Ship 2.0) 개발 중 - 경제운항, 안전운항, 효율운영관점의 기술 개발 중 3세대(Smart Ship 3.0) 개발 계획 - 10% 무인자율운항선박 기술 개발 예정
삼성중공업	VPS(Vessel Portal Service, 선박포털 서비스) - 선박의 운항 상태 감시, 제어시스템 선박 통합 에너지 효율관리 시스템 - 경제운항 솔루션(항로 및 트림 최적화) Intelliman Ship 개발 중 - 안전운항/경제운항 및 지능형 선단 운항 개발 예정
대우조선해양	경제운항/친환경 및 플랫폼 기술 자체 개발 선박 운항 데이터 원격 모니터링 시스템 자율운항기술 개발 중 - 자율운항, 육상제어, 지능형 센서 등 기술

자료: 임요준, 이윤철(2018), 자율운항선박과 IMO 협약의 쟁점이 해사법제에 주는 시사점

2.3 선행연구 고찰

2.3.1 자율운항선박과 해운인력에 대한 선행연구

해외 많은 연구와 국내 정부 및 유관기관에서 시행하고 있는 연구의 대부분은 자율운항선박의 과학기술 측면이 대부분이며 관련 산업 중 특히 선원의 고용과 일자리에 대한 파급효과와 그 영향을 분석한 선행 연구는 많지 않다.

Rodseth과 Burmeister(2012)는 무인화 선박(Unmanned ship)의 개발과 도입은 고도의 자격을 갖추고 해상 경험이 많은 선원들에게 새로운 직업 기회를 제공할 수 있다고 주장하였다. 특히 무인화 과학 기술을 통해 선박에 승선하지 않고 육상에서 선박 운항 감독과 통제를 할 수는 해운 산업의 새로운 고부가가치 직업군으로 충분한 가치가 있다고 하였다.

Rolls-Royce(2016)는 자율운항선박의 도입에도 불구하고 향후 가까운 미래에는 유인(기존 선박) 선박이 당연히 계속 존재하고 모든 선박이 자율 운항을 하지 않을 것이므로 결과적으로 향후 선원의 일자리 수를 극적으로 감소시키지 않을 것으로 예상하였지만 구체적인 감소 수치나 정량화된 데이터의 설명이 아닌 거시적인 관점에서의 선원 수 감소를 설명하였다(Dagostini 외, 2017).

Baldauf M. 외(2018)는 해상 경험이 있는 선원과 컴퓨터를 기반으로 한 정보 기술자 중 누가 자율운항선박의 운항통제와 모니터링을 수행하는데 적합한지에 대한 시뮬레이션 연구 분석을 하였고 미래의 선원이 갖추어야 할 필요한 해기 역량과 지식에 대해 설명하였다.

Lloyds Register(2017a)는 자율운항선박의 도입은 필연적이며 해운산업은 이러한 사실을 직시하여 선박건조, 제작, 수리 및 관리, 운영방식에 대한 새로운 사업 모델을 고려해야 한다고 하였다. 이러한 변화는 기술엔지니어, 선원, 해운회사 및 선박관리회사, 조선 등의 교육 및 훈련에 영향을 미칠 것으로 예상했다. 더불어 선박의 운항이 인적 요인의 개입 없이 시스템에 의해 부분적으로 통제되다가 완전 원격으로 제어되기 위해서는 원격운항관리자는 높은 수준의 학위

나 기술이 필요하다고 하였다.

박진수(2018)는 자율운항선박의 단계적 기술 개발에 따라 육상통제센터(Shore Control Center, SCC)의 운영자는 해운산업의 새로운 해기 직종이며 선원이라는 일자리의 질은 상당히 변화될 것으로 예상하였다. 그러한 기술 변화에 따른 인력의 교육과 훈련의 중요성을 강조하였다. 유사한 연구로 김종관 외(2017)은 Jatau(2002)의 선행 연구를 토대로 자율운항선박 개발이 진행된다면 선원들의 일자리는 더욱 축소될 위협에 직면하게 되고 특히 유능부원 또는 해기사 이외의 비숙련 인력은 불필요하게 되는 인력 구조가 형성될 가능성이 클 것으로 제안하였다. 그러한 기술 변화와 선원의 일자리의 구조 변화에 대응하기 위해서는 4차 산업혁명에 적합한 해기교육과정이 개선되어야 한다고 설명하였다.

김경석(2018)은 해운산업에 자율운항 기술의 도입 및 확대에 따른 선원 및 일자리에 미치는 영향을 자율 수준(Autonomy level)에 따라 수요와 일자리의 질이 다를 것으로 예상, 해기사의 직업 전환이 이루어질 것으로 분석하였다. 특히 주요 선원 송출국인 아시아 국가에서 큰 타격으로 예상하였다. 다만 선원 수요의 감소 대비 다른 형태의 신규 일자리가 창출될 것으로 예상하였다. 새로운 직업이 만들어질 것으로 대비하여 선원인력에 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT)을 습득하도록 기존의 해사교육기관들의 교육 커리큘럼은 개선될 필요가 있다고 제안하였다. 더불어 박혜리 외(2018)에서는 이러한 산업 변화를 고려하여 맞춤형 인력 양성 및 교육 시스템 개발이 필요하다고 제안하였다. 예를 들어 선박 자율도를 고려한 운항 전문 인력 양성, 육상 기반 선박 원격 조정 인력 양성 및 선원 인력에 대한 직업 전환 교육 정책 및 양성프로그램 개발이 필요하다고 주장하였다.

윤익로 외(2018)의 최근 연구에 따르면 전통적 유인선박에서 원격조종 자율운항과 완전 자율운항선박의 도입으로 해운산업에서 기존의 전통 선원의 일자리는 다소 감소, 그러나 현재와 다른 형태의 다양한 일자리가 창출될 것으로 분석하였다. 이 연구에 따르면 시나리오 분석을 활용하여 자율운항선박의 도입이 진행된다 하여도 선원의 공급과 수요에 대해 선원 고용 시장에 부정적 영향을 미치지 않을 것이라 주장한다. 동 연구에서는 김태균과 전영우(2017)의 선원의

공급과 수요에 대한 예측을 기초로 하여 자율운항선박의 운항 시 감소되는 선원을 가감하였다. 그러나 동 연구에서 구체적으로 선원의 감소규모와 새로운 일자리의 창출 규모 및 그 시기에 대해서는 다루지 못하였다.

유사한 연구로 전 세계 GDP 현황, 상선대의 현 규모 및 향후 전망, 선원의 수요 및 공급을 기초로 시나리오 분석을 통해 자율운항선박의 도입에 따른 선원의 감소 규모 변화를 대략적으로 제시한 Max(2018)의 연구도 있다. Max(2018)에 따르면 ICS/BIMCO의 Manpower Report와 세계 상선대 현황을 기초로 하여 향후 10년 동안 세계 상선의 성장 예측과 더불어 선원에 대한 수요 예측은 해기사 공급의 부족 현상이 지속될 것으로 전망하였다. Max는 ICS/BIMCO의 보고서를 인용하면서 2025년에 147,000명의 해기사 부족을 언급하고 이는 전 세계 선박 대비 필요 해기사의 18% 이상을 차지함을 강조하였다. 따라서 아래 그림 11과 12와 같이 상선척수는 지속적으로 증가하고 더불어 해기사 공급은 여전히 부족함을 토대로 자율운항선박의 도입 시 선원의 고용 변화에 대해 제언하였다.

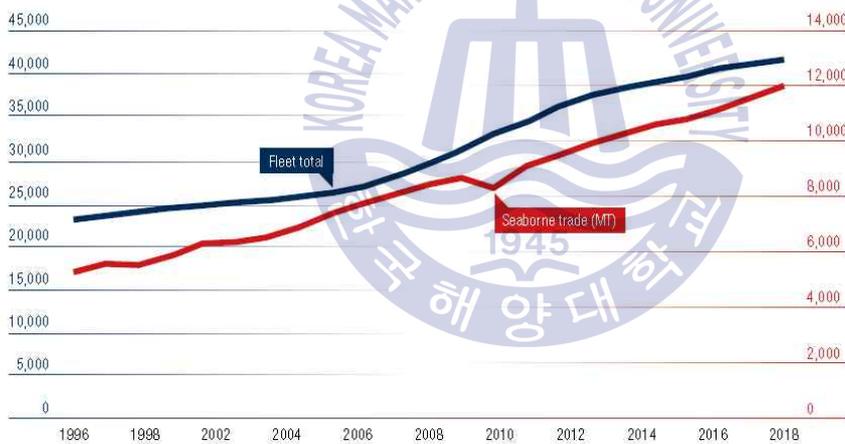


Fig. 11 전 세계 선복량과 물동량 현황

자료: Max Johns(2018), Seafarers and digital disruption; The effect of autonomous ships on the work at sea, the role of seafarers and the shipping industry. Hamburg School of Business Administration(저자의 자료 출처 : Clarkson Research, May 2018

결과적으로 Max는 해기사에 대한 수요는 5년마다 10% 증가할 것이고 공급은 상대적으로 정체되어 있다고 분석한다. 해기사의 공급 부족은 거의 20%에 달할 수 있어 향후 자율운항선박의 도입으로 인하여 직업 안정에 대한 불안 요소는 해운시장에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 평가하였다. 예를 들어 Max의 연구에서는 2020년에 자율운항선박이 100척 운영된다 하더라도 선원고용시장에는 아무런 영향을 미치지 않을 것으로 예상하였다. 자율운항선박의 도입이 순조롭고 기술개발에 문제가 없어 2025년에 1,000척의 선박이 완전자율운항선박(Fully-MASS)으로, 2,000척의 반자율운항선박(Semi-MASS)의 운항이 가능하다면 30,000명 내지 50,000명의 선원의 수요가 줄어들 수 있다고 설명하였다. 하지만 그와 동시에 고도로 숙련된 기술자, 육상통제센터(Shore Control Center, SCC)의 운영자 등 새로운 산업의 필요한 인력이 더 많을 것으로 예상하였다.



Fig. 12 ICS/BIMCO의 선원 수요 및 공급 예상

자료: Max Johns(2018), Seafarers and digital disruption; The effect of autonomous ships on the work at sea, the role of seafarers and the shipping industry. Hamburg School of Business Administration(저자의 자료 출처 : ICS/BIMCO Manpower Report 2015)

또한 Tester(2017)는 자율운항선박의 도입은 일자리를 없애기보다 일자리를

바꾸는 경향이 있으며 새로운 유형의 일자리 창출과 함께 더 큰 산업의 번영을 가져올 것이라 주장하였다.

최근의 사회관계망이나 뉴스 등의 사회 전반에 걸쳐 무인, 무인기술, 자율화라는 용어는 광범위하게 논의되고 있다. 동 이슈와 관련하여 자율운항선박 도입 시 기존의 유인선박의 선원의 일자리는 수는 분명 감소한다는 것에 대부분이 일치하였다. 다만 그 시기와 규모에 대해 정량적으로 연구한 선행연구는 전무하다는 것이다. 일부 시나리오 분석에 의해 몇 척의 자율운항선박 도입 시 선원의 일자리 몇 개가 감소할 수 있다는 연구에 그쳐 계량적으로 분석하지는 못하였다.

2.3.2 시스템 다이내믹스와 해운인력에 대한 선행연구

시스템 다이내믹스를 통해 해운인력 혹은 선원에 대한 선행 연구는 그리 많지 않다. Obando-Rojas B et al(1999)는 선원 특히 양질의 해기사의 수요가 지속적으로 감소함에 따라 시스템 다이내믹스법을 이용하여 선원 공급 흐름을 분석하였다. Alexopoulos et al. (2002)는 그리스 여객선 종사 선원인력에 대한 동향 분석을 통해 자격 있는 선원의 유지와 선원 수급에 미치는 주요 요인을 정의하고, 시스템 다이내믹스를 통해 선원 인력을 유지하기 위한 수급 방안을 제시하였다.

금종수 외(2003)은 선원의 수요 공급의 내용은 아니지만 시스템 다이내믹스 연구 방법론을 활용하여 해상에서 선박충돌사고 원인의 인적요인 모델을 구축하고, 선박의 충돌사고를 예방하고 감소시키기 위한 효과적인 대책을 제안하였다.

이호영 외(2014)는 국내 취업 선원에 대한 현황 분석을 통해 선원 수급에 미치는 주요 요인에 대해 알아보고 시스템 다이내믹스를 활용하여 선원인력 수급 예측을 연구하였다. 2020년까지 선원인력모형을 구축하여 분석 결과 지속적으로 한국인 선원 인력이 감소하는 것으로 분석되었다. 시스템 다이내믹스의 시

물레이션 결과, 임금, 복지제도, 선원양성 교육기관을 통한 선원인력 확충 방안은 선원 수급에 있어 그 효과가 미비한 것으로 나타났으며, 선원 복지 지원금액과 평균임금이 증가한 경우 선원 취업 수가 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 육상 임금이 증가할 경우 이직 선원 수가 증가하였고 육상임금 대비 선원 임금을 조절할 필요가 있는 것으로 조사되었다. 동 선행연구는 Stock-flow 다이어그램을 구축하는 데 있어 시계열 자료의 확보 어려움으로 인해 다양한 변수를 모델에 적용하지 못한 한계점이 있지만 선원 수급 문제에 대한 해결 방안으로 주로 거론되고 있는 선원양성 교육기관 확대, 선원 임금과 복지비용 증가에 대해 정량적으로 접근하여 더욱 객관적인 선원 수를 분석했다는 점에서 연구의 의의가 있다.

시스템 다이내믹스의 연구방법을 활용한 것은 아니지만 김태균, 전영우(2017)은 국제항해에 종사하는 해기사의 수요와 공급에 대한 예측을 하였으며 2022년을 기점으로 공급 초과가 예상되나 2026년에는 수급이 균형을 이룰 것이라고 전망하였고 표 8과 같다.

동 연구에 따르면 2018년에는 13,402명의 해기사 공급에 비해 13,764명의 해기사 수요가 발생되어 362명의 수요부족으로 전망하였다. 그러나 이러한 수요와 공급의 차는 점차 감소하여 2026년에는 수요와 공급이 같은 15,745명으로 분석하였다. 2026년에 수급의 균형을 이룰 수 있는 이유는 장기불황에서 점진적인 해운 경기의 호전을 기대할 수 있고, 2019년부터 해양대학교의 학생 정원 증가로 인한 신규 배출 해기사의 추가 공급이 있기 때문이라고 설명하였다. 또한 정부의 선복량 증강 정책 수립을 추진함으로써 선원이 안정적으로 취업활동 할 수 있는 선박 시장의 확대를 전망하였다(전영우, 2017).

Table 8 해기사 수요 공급 예측

구분	2016	2018	2019	2020	2023	2025	2026
총 해기사 수요	12,199	13,764	14,029	14,292	14,591	15,172	15,745
총 해기사 공급	12,878	13,402	13,832	14,106	14,819	15,404	15,745
수급 전망	+679	-362	-197	-186	+228	+232	0
공급초과, 부족비율	5.6%	2.6%	1.4%	1.3%	1.6	1.5%	0

자료: 김태균, 전영우(2017), 우리나라 국제항해상선 해기사 수급 전망

상기 연구와 유사한 연구로 김태균과 전영우(2018)에 따르면 시계열 데이터 분석을 토대로 ARIMA 모형을 활용, 선원 수요와 공급을 예측하였다. 해운재건 5개년 계획(2018-2022년)¹¹⁾ 등이 반영된 정부의 지원이 반영되지 않았을 경우에는 연평균 636명, 4.8%의 해기사 공급 과잉을 예측하였다. 다른 조건으로 정부의 지원이 반영되었을 경우에는 공급과잉, 공급부족 및 그리고 공급과잉의 등락을 예상하였다. 따라서 해기사 양성 시 해기교육기관의 양성 인원의 증감을 신중히 고려할 필요가 있고, 점차 기술력이 높은 수준을 요하는 해기사의 역할이 필요한 선종이 증가함을 지적하였다.

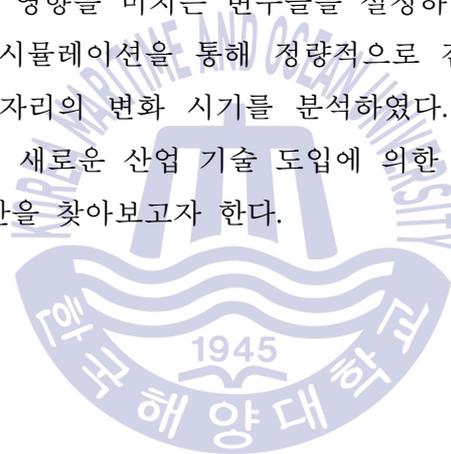
2.4 선행연구를 통한 시사점

선행연구 분석 결과, 기존의 자율운항선박과 선원 관련 선행연구의 대부분은 정성적 측면에서 자율운항선박 도입 시 선원이 감소, 신규 일자리 창출이 발생할 것으로 전망하였다. 본 연구와의 차이점은 자율운항선박의 기술개발을 여러 유형으로 발전한다는 가정 하에 선원의 일자리 감소와 신규 일자리 창출과의 규모 차이를 정략적, 시각적으로 분석해보는 것에 가치가 있다.

11) 해운재건 5개년 계획(2018-2022), 해운 재도약을 넘어 수출 경쟁력 확보, 지역경제 및 연관산업 활성화를 위한 계획으로 제15차 산업 경쟁력 강화 관계 장관회의에서 확정.

시스템 다이내믹스와 선원 관련 선행연구는 선원의 수요와 공급에 복지제도, 선원 임금, 휴가 등의 변수를 적용하여 미래의 선원의 수요와 공급을 예측한 것에서 본 연구와 차이점이 있다. 최근까지 자율운항선박의 기술적 측면과 동향에 대한 선행연구는 많으나 선원의 일자리와 해운인력의 변화에 대한 정략적 분석을 통한 연구는 전무하다. 또한 선원 인력과 관련된 대부분의 연구는 현황 분석 및 거시적 정책 방안 제시만 이루어지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 인과지도와 시뮬레이션을 통해 계량적 연구 데이터를 추출하였고, 이를 기초로 하여 선원의 일자리 감소부분과 신규 일자리 창출의 규모 차이를 정량적, 시각적으로 분석하였다. 결과적으로 동 연구를 통해 분석된 일자리의 감소와 창출의 차이(Gap), 차이의 증대 시기는 해운 산업을 이끌어 나갈 해운 인력 양성 계획 시 일부 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

따라서 본 연구에서는 자율운항선박의 기술발전 유형을 4가지 종류의 시나리오를 가정하고, 선원 일자리에 영향을 미치는 변수들을 설정하였다. 일자리 감소와 증가 모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통해 정량적으로 감소되는 선원의 일자리와 창출하는 새로운 일자리의 변화 시기를 분석하였다. 이러한 분석을 통해 결과적으로 해양산업에서 새로운 산업 기술 도입에 의한 변화에 적기 대응할 수 있는 현실적 개선 방안을 찾아보고자 한다.



제 3 장 연구 설계

3.1 시스템 다이내믹스

3.1.1 시스템 다이내믹스 개요

시스템 다이내믹스란 시스템적 사고(Systems thinking)를 모델화하는 도구이다(김기찬 외, 2007). 시스템 다이내믹스는 ‘시스템의 구조를 모델화하여 컴퓨터에서 시뮬레이션함으로써 그 정책효과를 분석하는 방법론’을 말하는데 1956년 Jay W. Forrester¹²⁾에 의해 처음 소개되었다(김도훈 외, 2001; 전준우 외, 2015). 포레스터 교수가 ‘산업동태론(Industrial Dynamics)’이라는 책을 발간하면서 처음으로 소개되었다. 그는 동 연구를 통해 산업 동태론은 산업시스템들의 형태를 연구는 방식이며 정책, 의사결정과 구조 그리고 물질적·정보적 지연(delay) 등이 어떻게 상호 연결되어서 시스템의 성장과 안정성에 영향을 주는지를 밝히고자 하였다(김도훈 외, 2001; 송상근, 2014).

이 방법론은 정성·정량적인 통합 시스템을 통해 비선형 피드백 특성을 지니고 있는 복잡한 시스템의 동태적인 현상을 정량적으로 분석할 수 있다(곽상만, 2005; 박성일 외, 2012). 이는 시간의 흐름에 따른 문제의 현상이 어떻게 변하는가를 중점적으로 시뮬레이션 하기 때문에 시스템 내에서 존재하는 변수의 양상에 따라 피드백을 기반으로 정성적이고 정량적인 분석이 가능하다(Yang, 2009; 박성일 외, 2012). 그리하여 시스템의 동태성(Dynamics)의 원인인 시간, 구성요소들 간의 피드백(Feedback loop) 그리고 정보 및 물질 흐름의 시간 지연(Time Delay)을 모델화하는데 적합한 프로그램 도구이다(김영국 외, 2014).

시스템 다이내믹스의 피드백 구조를 이루는 인과관계 대부분이 선형적(Liner)이기보다는 비선형적(Non-Linear)임을 강조한다(곽상만, 2005; 송상근, 2014). 따

12) Jay Wright Forrester(1918.07-2016.11), 미국의 컴퓨터 엔지니어이자 시스템 과학자였으며 MIT대의 Sloan Management School 교수였음. 동적 시스템의 상호 작용을 시뮬레이션으로 다루는 시스템 다이내믹스(System Dynamics)의 창시자임. 위키피디아. 2018.05.26. 검색

라서 시스템 다이내믹스는 특정 문제와 관련된 변수 값의 증감과 시간 지연에 따른 변화를 분석하여 문제 해결 및 의사결정 하는 데 적용되고 있다(Forrester, 1961, 1969; 김영국 외, 2014).

시스템 다이내믹스는 시스템(System)과 다이내믹스(Dynamics)라는 두 개의 단어가 합성된 것으로 공학과 사회과학의 결합으로도 간주하는 학자도 하다. 김희숙(2007)과 김기찬 외(2017)은 Dwight와 Harry(1982)의 연구의 인용을 통해 시스템(System)이란 관찰하고자 하는 어떤 대상이나 공간상의 영역 혹은 어떤 물질의 양이라고 설명하였다. 또한 다이내믹스(Dynamics)란 시간의 흐름에 따라 대상이 변화하는 것으로 해석하였다.

시스템 다이내믹스의 기반은 처음에는 정책의 설계 도구로 개발되었으나 1970년에 세계 환경 예측 분석 및 국가경제 모델의 거시적 연구에 활용되면서 산업 전반에 걸쳐 본격적으로 활용되기 시작한다. 1980년대에는 기업 조직의 동태적 적응과정에서 의사결정을 지원하는 방법론으로 연구되었다(김기찬 외, 2007; 송상근, 2014). 복잡한 시스템의 해결책에 관한 연구로 다양한 분야에서 활발히 활용되고 있는 시스템 다이내믹스는 시스템과 관련된 재고관리, 제품 판매 예측, 조직관리, 인사관리, 성과측정, 전략 및 대안의 효과 예측, 새로운 사회제도와 정책의 채택에 따른 영향력 분석 등의 문제를 모델화(modeling)할 수 있다(송상근, 2014).

김영국 외(2014)는 Sterman(2000)의 연구의 인용을 통해 시스템 다이내믹스의 모델링 과정을 5단계로 해석하였다. 문제에 대한 인식과 연구의 목표를 세우는 것이 첫 번째 단계인 ‘문제의 개념화’ 이고, 두 번째 단계인 ‘동적 관계 설정’에서는 시스템 관련 변수 선정과 변수 간의 동적 관계를 설정한다. 세 번째 단계인 ‘시물레이션 모델링’에서는 Stock-Flow 다이어그램의 구축하고, ‘시험 및 검증’ 단계를 통해 Stock-Flow 다이어그램의 타당성을 검증하였다. 그리고 마지막 단계인 ‘정책설정 및 평가’를 수행하면서 문제에 대한 효율적인 의사결정 방안을 제시한다(박성일 외, 2012; 김영국 외, 2014).

3.1.2 시스템 다이내믹스 특성

시스템 다이내믹스의 방법론의 특성은 다음과 같다.

첫째, 문제 요인들의 순환적 인과관계(Circular Causality)와 피드백 구조(Feedback Loop)를 강조한다. 피드백 구조란 변수들 간의 인과관계가 상호 연결되어 인과적으로 폐쇄된 구조를 형성한다(Richardson, 1991). 피드백 구조의 강조는 시스템의 변화를 외부변수가 아닌 내부변수에서 식별하고 시스템의 전반적인 구조에서 찾는다는 점을 의미한다(서혁, 2006; 김가혜, 2008). 김도훈은 피드백의 구조는 각종 정책과 관련된 변수들 간에 존재하는 피드백 구조를 발견하므로, 정책의 성공과 실패의 원인을 구조적인 측면에서 이해하고 문제 해결의 대안을 모색하는 것(김도훈 외, 1999, 2001; 김가혜, 2008; 송상근, 2014)으로 설명하였다.

둘째, 문제를 유발하는 요인의 상대적 중요성이 고정되어 있는 것이 아니라 시간의 흐름에 따라 변하는 것으로 본다(서혁, 2006). 즉 시간의 흐름에 따른 동태적 변화에 관심을 둔다는 것이다.

셋째, 문제 요인을 찾아낼 뿐만 아니라 요인들이 어떻게 문제를 야기하는가에 대해서도 설명한다.

넷째, 분석적 사고와 통합적 사고의 조화를 강조하는 것으로 시스템을 구성하는 요인과 요인을 분석하고 차례로 요인들을 연결함으로써 시스템 전체를 이해하고자 한다(김가혜, 2008; 최우람, 2010). 즉 시스템 다이내믹스를 문제의 구조를 밝히는데 초점을 두기 때문에 사건 중심의 기법이 아니고 문제 요인의 특성을 파악한 후 문제 해결의 대안을 모색하고자 한다. 따라서 부분에 집착하기보다는 전체를 파악하고 가까이에서 부분을 볼 것을 강조하는 사고의 틀이자 분석 틀이다(김도훈 외, 1999).

Table 9 통계적 기법과 시스템 다이내믹스 방법론간의 비교

특성	통계적 방식	시스템 다이내믹스
추론의 방식	기존의 경험적 자료	변수들 간의 인과적 관계
분석의 대상	정태적 형태	동태적 형태
분석의 초점	두 변수간의 상관관계	다 변수들간의 순환관계
분석의 목표	수치적 정확성의 추구	구조적 정확성의 추구
정책 예측	단기적 예측	장기적 예측
정책처방의 실험	어려움	쉬움(정책수단의 발견)

자료: 김도훈, 문태환, 김동환(1999), 시스템 다이내믹스

3.1.3 주요 구성 요소

(1) 스톡변수(Stock)

시스템의 상태를 나타내는데, 저장 또는 수준(Level) 변수라고도 한다. 스톡은 시간에 따른 변화하는 결과 값으로써 현재 시점에서의 누적량을 의미한다.

(2) 유입 유출량(Flow)

시스템의 상태, 즉 스톡의 변화를 일으키는 유입량(Inflow)과 유출량(Outflow)을 말한다. 이러한 플로우는 시간에 따른 변화량이라고도 한다.

(3) 보조변수(Auxiliary)

독립변수와 종속변수로 구성된 함수식으로 다양한 함수들을 이용하여 문제의 현상을 설명하는 변수이다.

(4) 상수(Constant)

상수변수로서 의사결정 변수와 초기 환경 값이 설정된다.

(5) 연결선(Link)

링크 또는 연결선인데 변수와 변수간의 관계를 형성해 준다.

본 연구에서 사용한 파워십의 주요 모델링 아이콘과 기능은 표 10과 같다.

Table 10 주요 모델링 명칭 및 기능

	명칭	기능
	스톡변수(Stock)	시스템 상태. 변화를 누적하여 그 결과를 표시
	보조변수(Auxiliary)	변수와 변수 사이에서 계산을 수행하는 매개변수 또는 종속변수
	상수(constant)	해당 변수 값을 스스로 정할 수 있는 독립 변수
	연결선	변수를 서로 연결하여 상호 연산을 할 수 있도록 함
	플로우 변수(Flow)	변화율 변수(미분 변수)로 스톡 변수 값을 변화시킴

3.1.4 시스템 다이내믹스 기법 수행 절차

시스템 다이내믹스는 문제의 근원이 되는 원인구조를 밝힘으로써 피드백 구조에서 문제에 대한 해결을 모색하는 것으로 시스템에서 나타나고 있는 현재의 상황은 반드시 이전 시스템의 결과가 원인으로 작용한다. 이러한 메커니즘을 이해하고 모델을 효율적으로 구축하기 위해서는 시스템적 사고를 갖추어야 한다(김기찬 외, 2007; 송상근, 2014). 일반적으로 시스템 다이내믹스의 수행 절차는 아래 그림 13과 같이 문제 정의, 인과지도 작성, 모형 구축, 시뮬레이션 구축, 분석, 모형의 타당성 평가, 의사결정의 수행 절차에 의해 이루어진다(손기영, 2007; 손승현, 2018).

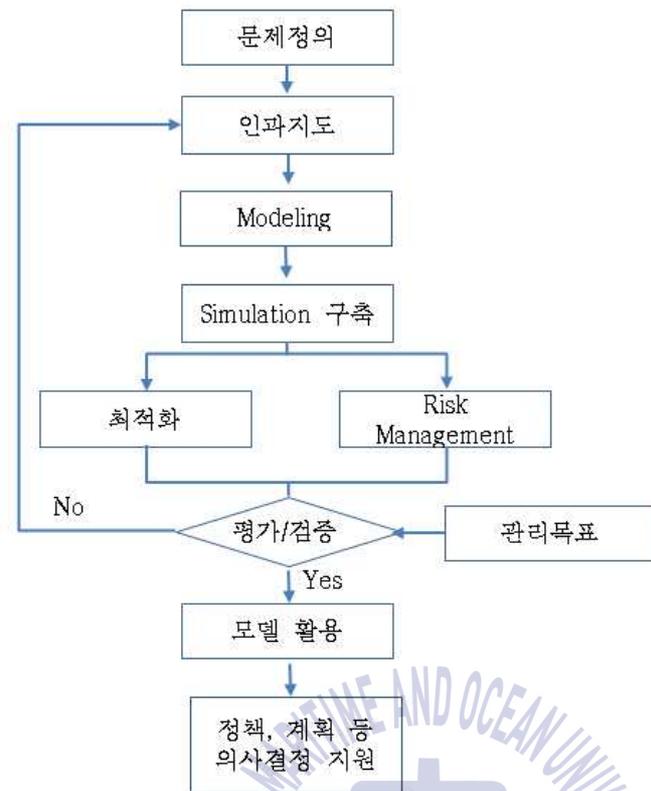


Fig. 13 시스템 다이내믹스 기법 연구 수행 절차

자료: 손기영(2007), 상업건축물 사업타당성분석 모형구축
 김기찬 외(2007), Vensim을 활용한 System Dynamics
 송상근(2014), 시스템 다이내믹스를 이용한 부산항 환적물동량 예측에 관한 연구

즉, 어떠한 문제현상에 대하여 요인들의 정의를 명확히 하고, 문제발생에 관련된 각 문제 요인들 간의 피드백 구조를 파악하여 인과지도를 작성한다. 작성된 인과지도를 바탕으로 시스템 다이내믹스 모델링 도구를 활용, 변수의 동태적인 변화를 시스템 내부에 존재하는 변수들과의 상호작용을 파악한다. 이후 중요 요인들을 분석하여 최적화 시뮬레이션, 리스크 시뮬레이션 과정을 통하여 형태 분석을 하고 시뮬레이션 모델 결과에 대한 평가 및 검증함으로써 의사결정을 수행 할 수 있다(손기영, 2007; 손승현, 2018).

3.2 인과지도 및 구성

시스템 다이내믹스는 크게 인과지도와 Stock-Flow 다이어그램으로 구분된다. 인과지도(Causal Loop Diagram)는 정성적인 논리 모델이다. 인과관계란 원인과 결과의 관계를 의미하고, 인과관계가 불확실한 것들도 인과지도로 표현하고 있다(곽상만과 유재국, 2016). 컴퓨터 시뮬레이션 전에 수행되는 과정으로서 문제를 접근하는 관계자들 간의 모델의 이해를 돕기 위해 사용되는 다이어그램이다(오영민과 정경호, 2009).

Stock-Flow 다이어그램은 Level 변수와 Rate 변수로 구성되어 특정 문제에 관련된 변수간의 원인과 영향의 관계로 보여준다(김영국 외, 2014). Level 변수는 시간의 흐름에 따라 변화되는 시뮬레이션 값이 저장되는 변수를 뜻하며, Rate 변수는 특정 변수들의 영향을 받아 변화하며 Level 변수에 영향을 주는 변수를 뜻한다(Ibid).

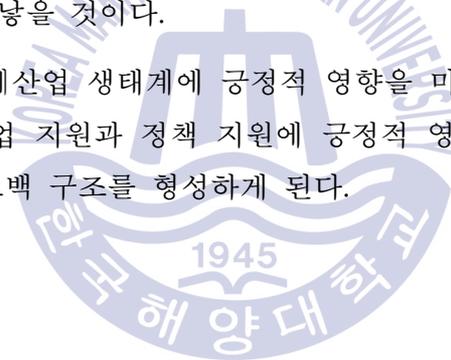
본 연구의 목적인 자율운항선박(MASS)의 기술발전에 따른 해양산업인력 규모 및 구조의 동태적 변화를 분석하기 위한 인과지도는 그림 14와 같다.

4차 산업 혁명에 따른 기술 발전에 따라 자율운항선박의 기술수준도 발전하게 된다. 더불어 정부의 자율운항선박의 기술 지원 정책, 산업 지원 정책 등의 지원이 적용하게 되면 전반적으로 산업의 일자리 창출과 경제산업적 효과로 이어지게 된다. 자율운항선박의 기술 수준은 자율운항의 건조의 증가로 이어지게 되고, 이는 선원이 선박에 승선하지 않아도 되는 선박으로 선원 고용의 감소로 이어진다. 선원의 고용의 감소는 기존의 선박관리(Ship Management)에도 영향을 미칠 것이다. 자율운항선박은 완전자율운항이 실현되기까지 반자율운항선박과 완전자율선박 등 소수의 선원들로 운영되거나 무인으로 운항하고, 육상 관제센터에 의해 선박관리가 운영되므로 선원 사회와 선박관리업에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 기존의 선원관리와 상업적·기술적 선박관리의 사업 범위가 축소되거나 자율운항선박의 도입에 따른 새로운 선박관리 비즈니스가 등장하게 될 것이다. 결과적으로 자율운항선박이 선박관리산업의 사업 범위가 축소될 수 있는 위협적 요인일지 혹은 새로운 비즈니스 변화로 선순환적 기회 요인일지에

대해서는 선박관리의 플랫폼 선점에 있음을 강조(이권희, 2018)하였으나 본 연구의 인과지도에서는 순환적인 피드백 구조를 갖는 것으로 고려하였다.

자율운항선박의 선복량의 증가는 관련 해양산업, 예를 들어 선박 조선업, 기자재, 수리 및 유지 보수업, 해운항만물류, 기타 서비스업 등의 고용유발효과를 발생시킬 것으로 전망하였다. 또한 신규 진입한 해양 수산 인력이 자율운항선박과 관련하여 전문 직무교육을 이수 후 진입하는 경우와 기존의 해양수산인력이 신규 직무전환교육을 이수 후 자율운항선박 산업에 종사하는 직무의 재배치가 예측된다. 육상 관제센터에 의해 자율운항선박의 모니터링과 운항 감독이 이루어진다면 육상 관제센터의 관제요원들에 대한 일자리도 창출될 것으로 분석된다. 관제요원들은 기존의 해기기술을 보유하고 있는 선원의 직업전환으로 이어질 수 있으며, 신규 진입한 인력이 전문 직무 교육 이수 후 자격을 획득한 후에 종사하게 될 수도 있을 것이다. 관제요원 및 자율운항선박의 전문교육 및 직무교육을 담당할 교원의 확보도 필요하다. 이러한 인력들은 자율운항선박이 도입됨으로써 기존의 해양산업인력의 직업의 재배치가 이루어짐과 동시에 새로운 일자리가 증가되는 결과를 낳을 것이다.

새로운 일자리의 증가는 경제산업 생태계에 긍정적 영향을 미치게 되게 되고 이는 다시 자율운항선박의 산업 지원과 정책 지원에 긍정적 영향을 미치게 되므로 이는 선순환적 관계, 피드백 구조를 형성하게 된다.



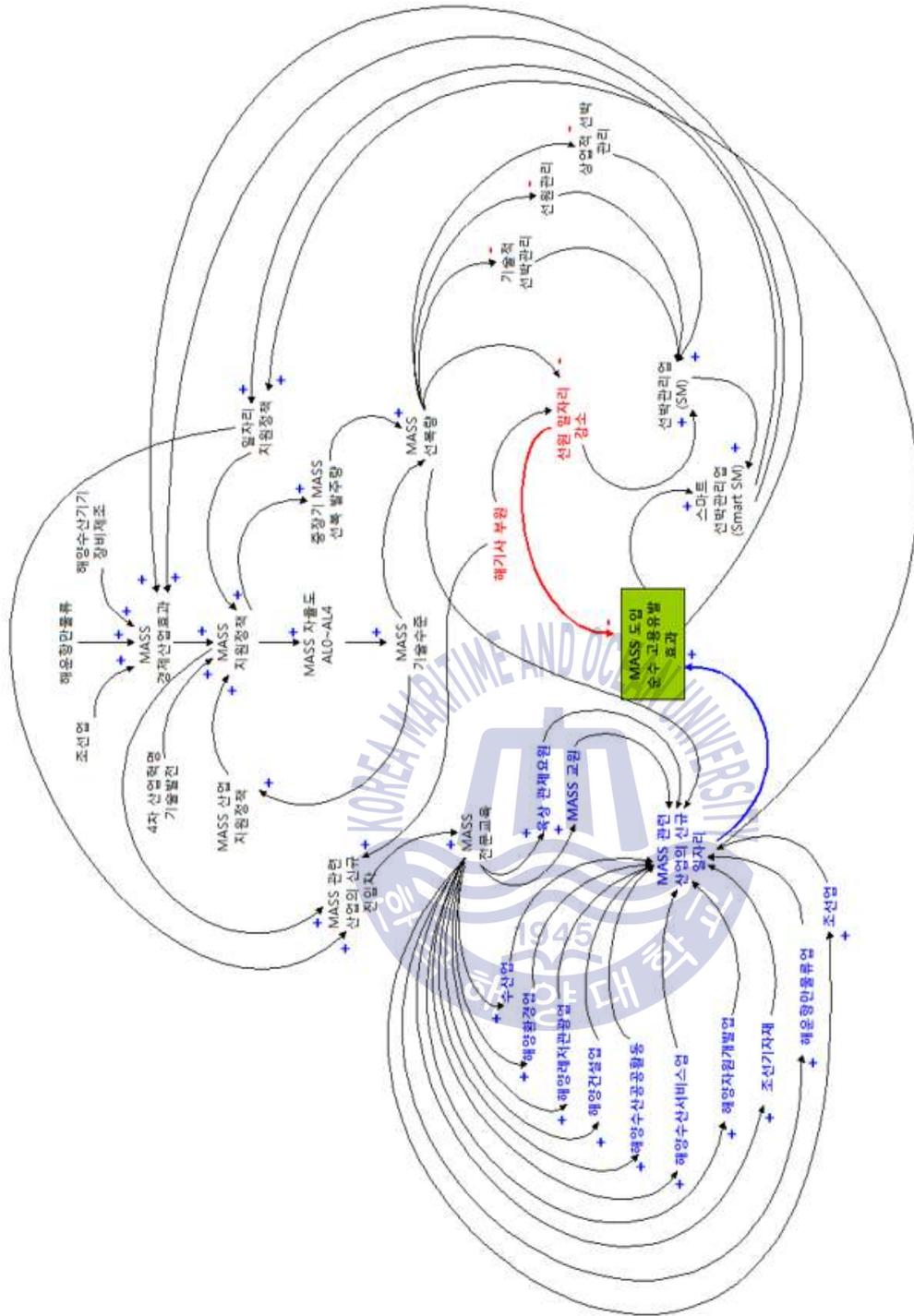


Table 14 인과지도(Causal Loop Map)

3.3 Stock-flow 다이어그램

자율운항선박의 기술발전에 따른 선원의 일자리 수 감소와 신규 일자리 창출을 예측하기 위한 Stock-flow 다이어그램은 그림 15와 같다.

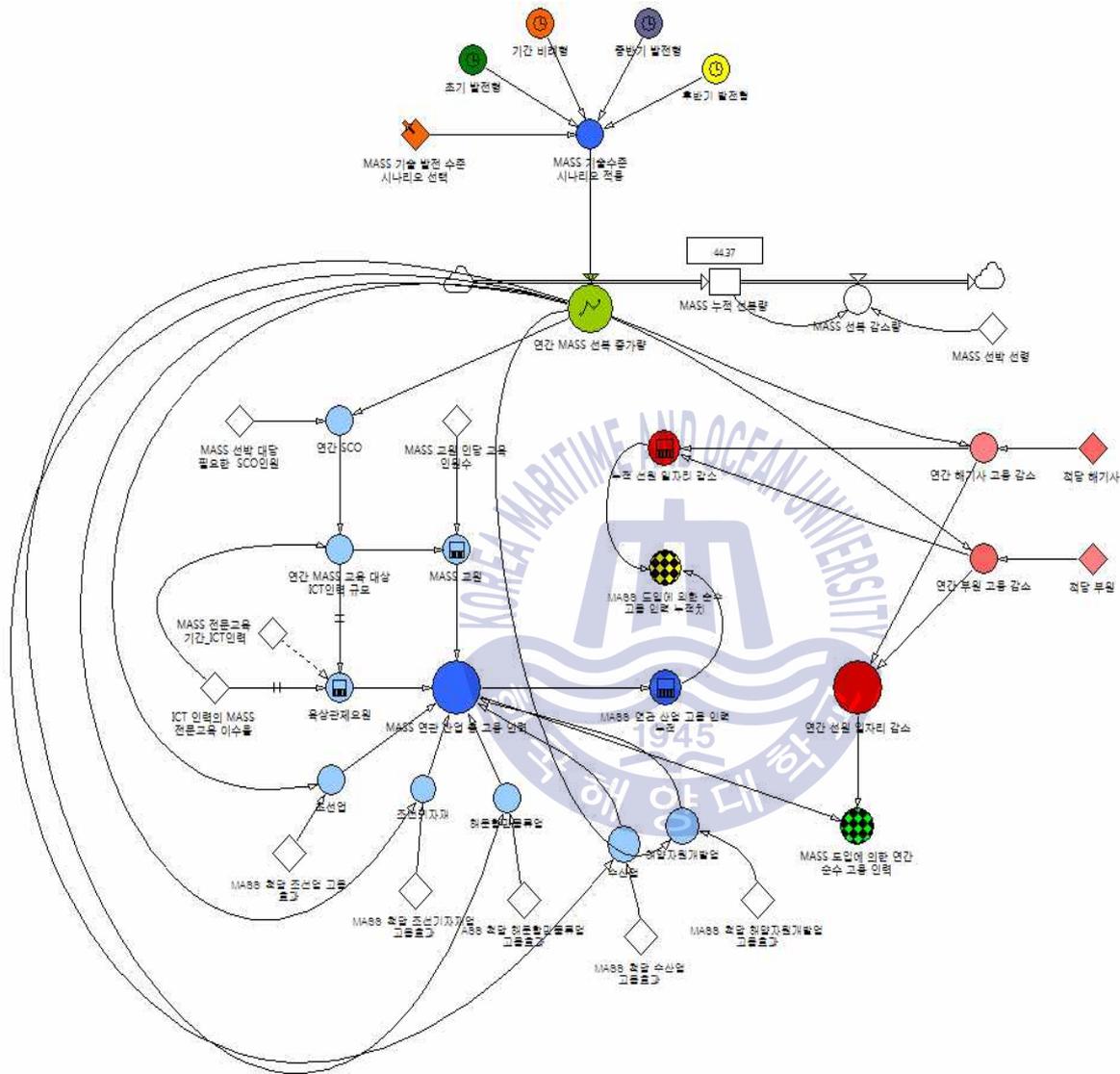


Fig. 15 Stock-Flow Diagram

인과지도를 통한 시뮬레이션의 모델링은 아래 그림 16, 17과 같이 감소모델과 증가모델을 구축하였다. 자율운항선박의 도입으로 인한 선원의 일자리 감소는 감소모델로 구현하였고, 새로운 기술 도입으로 인한 자율운항선박 관련 산업의 새로운 일자리 창출에 대해서는 증가 모델을 구축하였다.

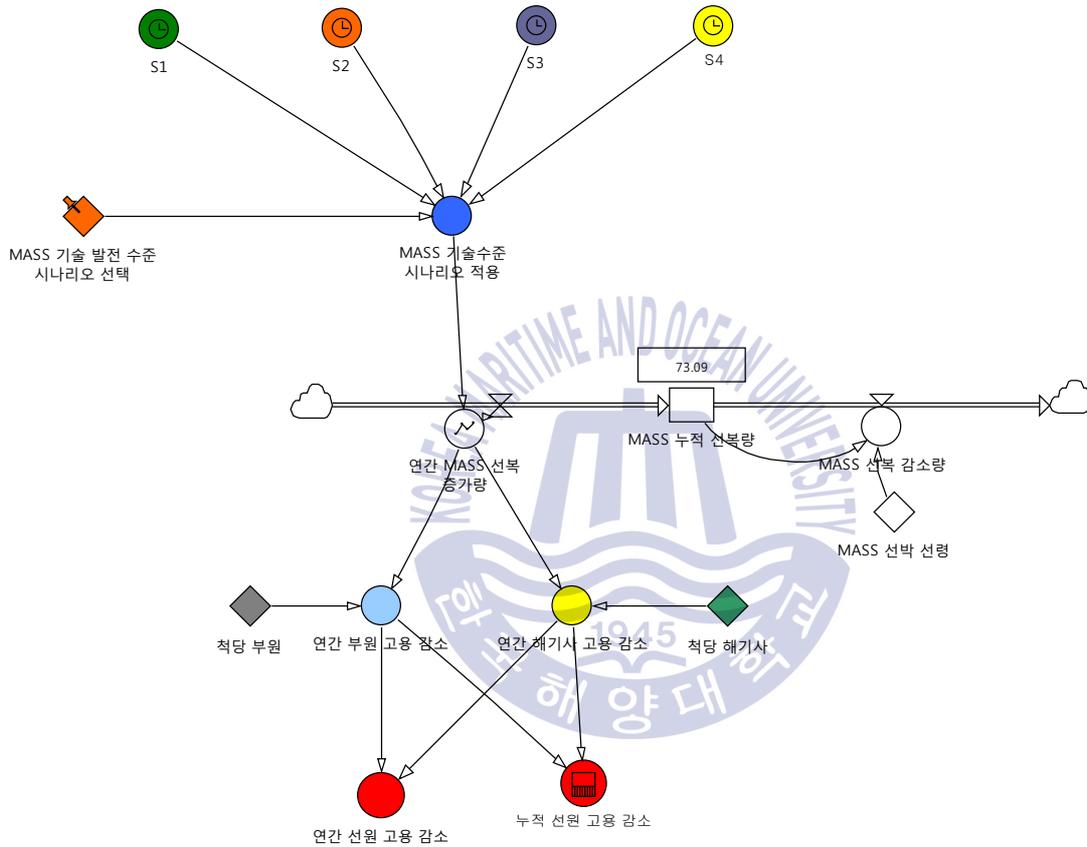


Fig. 16 Stock-Flow Diagram-감소모델

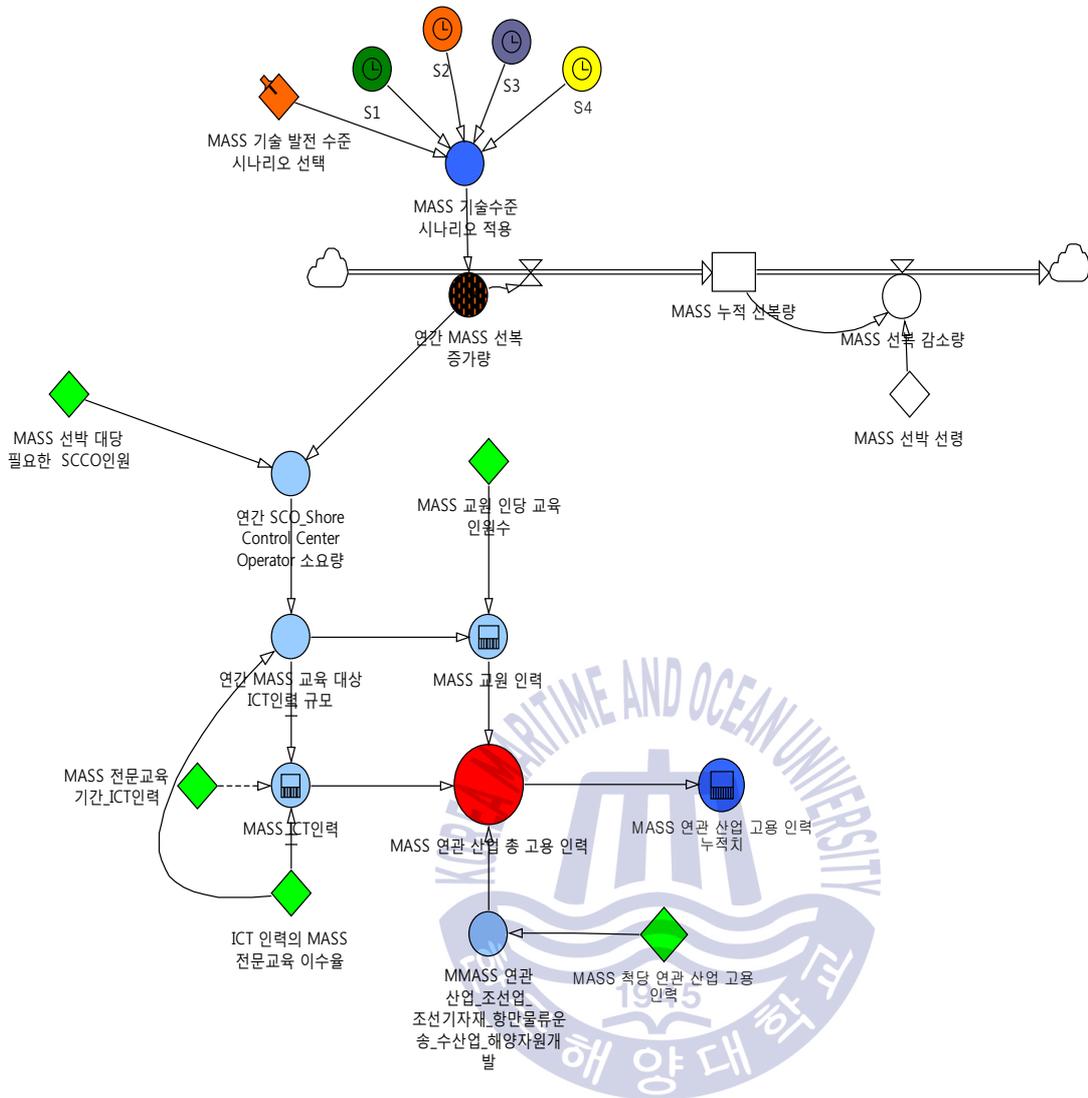


Fig. 17 Stock-Flow Diagram-증가 모델

3.4 시뮬레이션 적용 범위

3.4.1 적용 개요

본 연구에서는 시스템 다이내믹스 방법론을 활용하여 자율운항선박의 도입으로 인해 해양산업의 일자리의 동태적 변화에 대해 분석한다.

3.4.2 시간적 범위

본 연구의 시뮬레이션 기간은 현재 2018년부터 2035년까지 수행하였다.

3.4.3 기술적 범위

(1) 자율화 등급(Autonomy Level)

해양수산부의 ‘스마트 자율운항선박의 개발 및 해운항만 운용서비스 개발’ 추진 사업은 현재의 수준으로부터 완전자율화 수준까지 STEP 4로 구분하고 있음을 참조하였다. 또한 IMO는 자율운항선박의 기술수준을 STEP 4로 구분하여 2035년까지 완전자율운항선박의 기술발전을 예측하고 있다. 물론 자율운항선박의 기술이 계획적으로 개발되고 보급과 확산되는 시점을 구체적으로 예측할 수는 없으나 시뮬레이션의 목적을 고려하여 2035년까지 자율운항선박의 기술발달 수준을 4의 단계로 정의하였다.

(2) MASS 기술 발전 수준 형태

자율운항선박의 선복량의 증가는 MASS의 기술발전 수준에 전적인 영향을 받는 것은 아니다. 인과지도에서 정의한 것처럼 정부나 민간에서의 MASS 지원 정책, MASS 산업 지원 정책, 경제 산업 효과 등 영향을 미치는 변수는 많으나 본 연구에서는 MASS 기술 발전 수준을 독립된 변수로 가정하여 다른 영향을 미치지 않는다는 가정 하에 시뮬레이션을 하였다.

다만 자율운항선박의 기술발달 수준은 시간에 따라 발전 정도가 달라지므로 아래와 같이 가정하였다.

- 초기 발전형(로그함수) 시나리오

MASS 개발이 기술 도입 초기에 강하게 상승하는 것을 가정

- 기간 비례형(비례 함수) 시나리오

MASS 개발이 연도별로 균등하게 상승하는 것을 가정

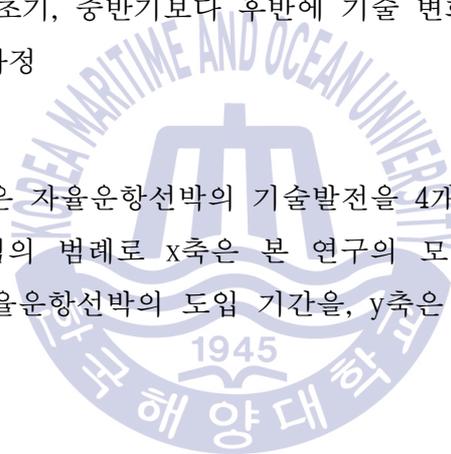
- 중반기 발전형(로지스틱 함수) 시나리오

MASS 개발이 초기, 후반보다 중반기에 기술 변화가 더 많이 상승하는 것을 가정

- 후반기 발전형(로지스틱 함수) 시나리오

MASS 개발이 초기, 중반기보다 후반에 기술 변화가 더 많이 상승하는 것을 가정

아래 그림 18, 19, 20 및 21은 자율운항선박의 기술발전을 4개의 다른 형태로 발전하는 것을 나타낸다. 그림의 범례로 x축은 본 연구의 모델 기초 변수인 2018년부터 2035년 사이의 자율운항선박의 도입 기간을, y축은 자율운항선박의 도입 기술 수준을 표시하였다.



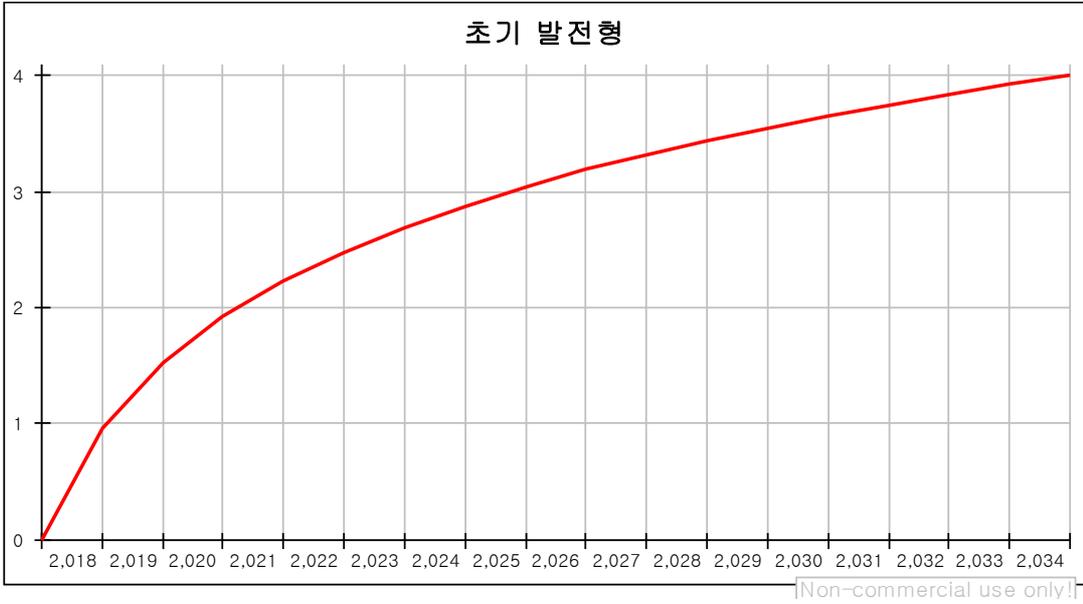


Fig. 18 초기 발전형 시나리오

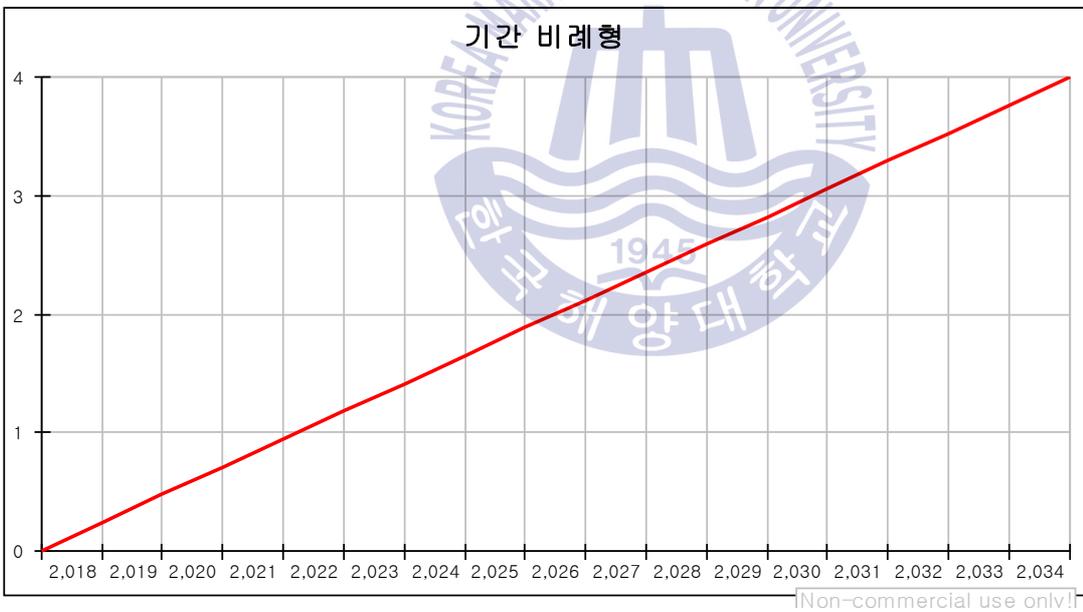


Fig. 19 기간 비례형 시나리오

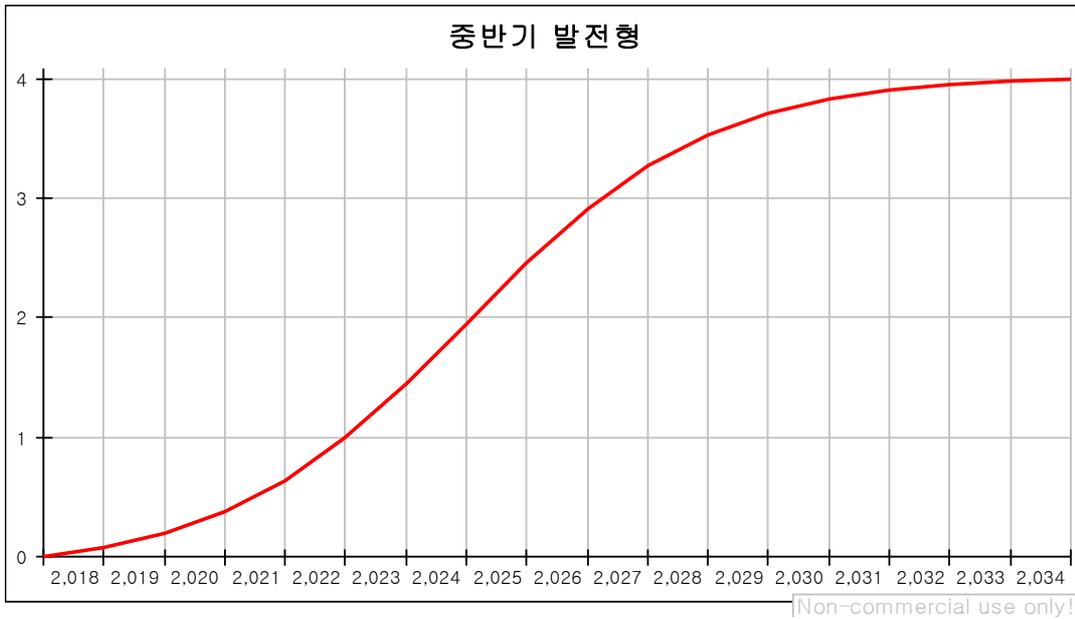


Fig. 20 중반기 발전형 시나리오

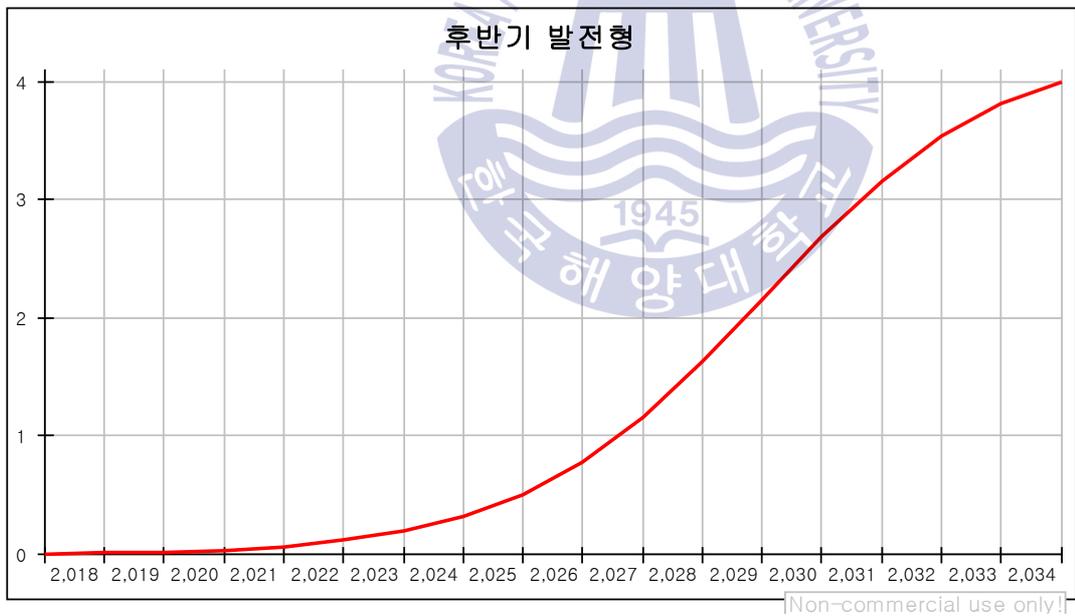


Fig. 21 후반기 발전형 시나리오

(3) 해기사 및 부원

한국선원고용복지센터(2018)에 따르면 현재 한국 선원 취업의 규모는 약 3.6만명(전체 취업선원의 약 60%) 수준이며, 매년 감소하고 있다. 2013년 38,787명, 2014년은 37,125명, 2015년은 36,796명, 2016년은 35,685명이다. 아래 표 11과 같이 동 연구에서 선원이란 국적선과 해외취업선에 종사 중인 해기사와 부원을 말하며, 상선(외항, 내항)과 어선(원양, 연근해)를 포함하는 한국인 승선원과 예비원을 말한다. 본 연구의 Stock flow 다이어그램의 해기사와 부원에 대한 상수는 실제 값을 사용하였으며 2017년 말 기준으로 해기사 21,777명(승선원과 예비원)과 부원 13,319명(승선원과 예비원)을 입력하였다.

Table 11 한국선원 취업 현황

구분		합계	승선원			예비원			
			계	해기사	부원	계	해기사	부원	
업종									
합계		35,096	33,841	20,768	13,073	1,255	1,009	246	
국적선	계	31,868	30,616	17,867	12,749	1,252	1,007	245	
	상선	소계	16,442	15,190	12,121	3,069	1,252	1,007	245
		외항	8,409	7,251	6,102	1,149	1,158	937	221
		내항	8,033	7,939	6,019	1,920	94	70	24
	어선	소계	15,426	15,426	5,746	9,680	-	-	-
		원양	1,406	1,406	1,179	227	-	-	-
		연근해	14,020	14,020	4,567	9,453	-	-	-
해취선	계	3,228	3,225	2,901	324	3	2	1	
	상선	2,832	2,829	2,625	204	3	2	1	
	어선	396	396	276	120	-	-	-	

자료: 한국선원고용복지센터(2018), 2018년도 한국선원통계연보

아래 그림 22와 같이 자율운항선박의 기술 수준이 완전한 인적 요인의 개입

없는 무인의 자율화 선박이 운용되면 선원의 선박 승선은 필요치 않게 된다. 따라서 인과지도와 Stock flow 다이어그램에서는 자율운항선박의 선복량이 증가함에 따라 선원의 일자리 수도 점차 감소하는 것으로 4개의 각기 다른 시나리오로 분석하였다. 일부의 해기사와 부원은 자율운항선박 관련 산업으로 신규 진출할 것으로 기대하고 있어 본 연구의 인과지도에는 반영하였지만 정량적 수치 예측이 어려움으로 본 연구의 Stock flow 다이어그램에는 포함 하지 않았다.

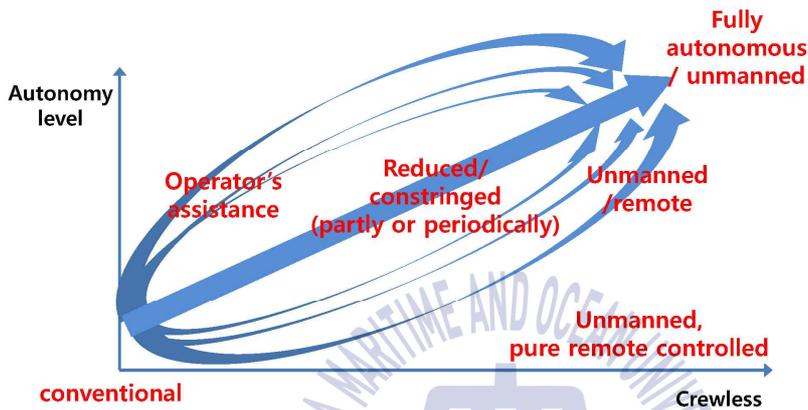


Fig. 22 자율운항선박의 자율수준과 선원 감소

자료: Rolls-Royce(2016), 재인용 윤익로(2017), 자율운항선박의 미래

또한 현재 선원의 연령분포에 따르는 자연적 은퇴시기와 주요 상선의 선령분포에 따른 선박 교체 수요 발생, 선원과 관련된 선원을 위한 각종 제품(선용품, 인적안전설비 등)의 생산에 관련된 분야 산업까지는 인과지도와 Stock flow 다이어그램에 반영하지 못하였다. 선원 취업 일자리 수의 감소는 선원의 교육훈련을 담당하는 교육기관의 인력 감소로도 영향을 미칠 수 있으나 2035년까지는 그 영향의 정도가 크지 않을 것으로 전망되어 Stock flow 다이어그램에는 반영하지 않았다. 하지만 자율운항선박에 따른 전문 교육 교원이 새로이 발생함에 따라 본 연구에서는 선원에 한정하여 모델링을 하였다.

(4) 자율운항선박 관련 해양산업 신규 일자리

본 연구에서는 MASS의 기술발전에 의한 선원 일자리 수와 해양산업의 신규 일자리 창출의 변화가 어떻게 이루어지는가에 중점을 두고 시뮬레이션을 수행하였다. 해양산업은 40여개의 해운·항만·선박관리·선박매매분야, 조선·해양분야, 선박기자재분야, 수산분야 및 그 부대업을 아우르는 산업이며 50만명을 고용하는 일자리 창출 효과가 큰 산업이다(전영우 외, 2014). 해양산업은 다양한 직종의 고용을 창출하는 전천후 고용창출산업이며 직접고용 뿐만 아니라 해양 연관산업의 간접 고용에 크게 기여하고 있다.

Table 12 해양산업의 규모 및 일자리 창출 규모

구분	해운·항만 부대사업	조선	합계
매출액(조원)	65	80	145
종사자수(만명)	28	22	50

자료: 한국선주협회(2013), Vision 2020.

최근 윤익로 외(2018)의 연구에 따르면 자율운항선박과 국민경제적 파급효과를 분석하였고 그 중 여러 산업 중에 10대 해양수산업의 정의와 효과를 정량적으로 분석하였다. 동 연구에서는 10,000TEU 컨테이너선박의 자율운항선박을 건조하였을 경우 3,600억원의 비용이 발생한다고 분석하였다. 현재의 산업 구조¹³⁾에서 자율운항선박 1척을 신조하였을 때 총 생산유발효과는 약 9,985억원, 총 부가가치 유발효과 약 2,471억원, 총 고용유발효과는 약 6,836명으로 분석되었다. 이 중 10대 해양수산업에 미치는 효과로서 생산유발효과는 약 4,317억원, 부가가치 유발효과는 약 807억원, 고용유발효과는 919명으로 조사되었고 아래 표 13과 같다. 자율운항선박의 상용화에 의한 국민경제적 파급효과의 대부분은 조선업에 집중된 반면 해운항만물류 분야는 상대적으로 적은 것으로 분석되었다.

13) 국민경제파급효과에 영향을 미치는 산업구분(대분류)을 총 40여개로 하고 그 중 10대 해양수산업으로 구분하였으며 해양수산과학기술진흥원(2017) 참조.

따라서 본 연구에서는 자율운항선박 연관 산업을 선행연구에서 연구된 10대 해양수산업에 한정하고자 한다. 인과지도에는 10대 해양수산업과 자율운항선박과의 인과관계를 구분하였고, Stock flow 다이어그램에서는 취업유발효과가 미미한 해양건설업, 해양수산서비스업, 해양수산공공활동, 해양레저관광업 및 해양환경업은 제외한 5개의 해양수산업에 대해 모델링하였다.

Table 13 자율운항선박 관련 10대 해양수산업 파급 효과

(단위: 억원, 명)

구분		생산유발효과	부가가치 유발효과	취업유발효과**
10대 해양 수산업	수산업	12.9	4.0	10
	해양자원개발업	146.2	65.3	38
	해양건설업	-	-	-
	해양수산서비스업	12.8	5.5	2
	해양수산공공활동	0.6	0.4	0
	해양레저관광업	12.5	5.1	3
	해양환경업	1.5	0.7	0
	조선업	3,600.4	586.7	806
	조선기자재	498.7	134.3	53
	해운항만물류	31.8	5.3	7
합계	4,317	807	919	

자료: 윤익로 외(2018), 자율운항선박 기술영향평가

Table 14 자율운항선박 관련 10대 해양수산업 중 신규 일자리 예시

구분	신규 일자리 예시
조선기자재	<ul style="list-style-type: none"> • 자동(또는 원격) 유지보수 기기 • 장비 제조 및 서비스 • 자동(또는 원격) 예선, 도선 및 접안과 이안 기기 제조, 서비스 • 무인 환경에서의 화물 보안 장비, 솔루션 제조 및 서비스 • 무인 환경에서의 최적 화물 관리 장비 솔루션 제조 및 서비스

	<ul style="list-style-type: none"> • 선박과 선박(ship to ship) 전기 충전용 기기 및 장비 • 자율운항선박용 기기 및 장비의 실증과 인증 컨설팅
해상항만운송	<ul style="list-style-type: none"> • 자율운항선박을 활용한 중소 화주 맞춤형 비즈니스 • 자율운항선박을 활용한 공유경제 비즈니스 • Ship to ship 등 운송수단간 화물 자동 환적 및 연계 솔루션
해상항만물류	<ul style="list-style-type: none"> • 해운전문 사이버 보안 기술 및 컨설팅 • 자율운항선박을 위한 항만 전체 과정에서의 통합플랫폼 및 서비스 제공 기업 • 항만 하역 등 자동화 장비 원격 조작, 시스템 운영관리 서비스 제공 기업 • 신규 통신서비스 제공 기업 • 기타 정부, 국제기구 등의 새로운 규제에 의해 새롭게 등장하는 기업 등

자료: 윤익로 외(2018), 자율운항선박 기술영향평가, 저자 편집

(5) 육상관제요원

선박에 승선하지 않고 육상에서 선박의 운항을 모니터링하고 원격조종하는 육상관제요원이라는 새로운 일자리가 필요할 것이며, 육상관제요원은 현재의 선원에게 요구되는 역할과 직무지식·기술과 다른 기술이 필요할 것이다. 지금까지 육상관제요원, 육상선박운항관리자, 육상운항담당자 등 다양한 명칭으로 불리고 있으나 대부분은 선박에 승선하지 않고 통신을 통해 선박을 원격조종하는 담당자를 말한다. 육상관제요원이라는 일자리는 선박의 승선 경험과 해기능력을 갖춘 선원일 가능성이 높으나(D' agostini et al., 2017) 그러한 일자리의 규모가 현재 선원 일자리와 질적, 양적으로 동등할 것으로 기대되지 않는다(윤익로 외, 2018). 기술이 발전하고 통신과 인공지능, 지능정보통신 등이 발전한다면 어려움 없이 소수의 육상관제요원은 다수의 선박을 담당할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 육상관제요원이라 하면 선박에 승선하지 않고 육상에서 선박의 운항을 감독하고 원격조종하는 담당자를 말하며, Stock flow 다이어그램에서는 자율운항선박 1척당 3명이 3교대 근무와 0.5명의 예비원이 배치되

는 것으로 모델링 하였다. 관련 직무에 대한 전문교육을 이수 후 육상관제요원으로 배치될 수 있도록 전문교육 이수율 90%로 한정하여 가정하였다.

(6) MASS 교원

신규 일자리로 창출되는 육상관제요원을 교육하는 MASS 교원은 피교육생(육상관제요원) 10명 당 1명의 교원이 필요할 것으로 모델링하였다. MASS 교원은 육상관제요원이 소요되는 시점 이전에 양성될 수 있도록 시간 조정하였고 결과적으로 본 연구에서 시뮬레이션에 사용된 변수의 정의와 범위는 아래와 표 15와 같다.



Table 15 적용된 변수들의 정의 및 범위

변수	정의 및 시뮬레이션 범위
시나리오	4개의 유형 - 초기발전형, 중반기 발전형, 후반기 발전형, 기간비례형
시뮬레이션 설정 기간	2018년부터 2035년
MASS 기술발전수준	4단계(IMO 자율도를 기준으로 함)
연간 MASS 선박 증가량	시나리오 1,2,3 및 4에 따라 선박이 건조, 최대 연간 10척 건조됨을 가정함
척당 취업유발효과	자율운항선박 1척당 919명 신규 일자리 창출 - 조선업(806명), 조선기자재업(53명), 해운항만물류업(7명), 수산업(10명), 해운자원개발업(38명)
선원	2018년 한국 선원 취업 현황(실제값) - 해기사(21,777명), 부원(13,319명) 국적선과 해외취업선(외항, 내항, 상선, 어선 포함)
육상관제요원	자율운항선박 1척당 3.5명이 필요, 전문교육 이수율은 90%로 가정함
MASS 교원	피교육생(육상관제요원) 10명 당 1명의 교원 배치
연간 선원 일자리 감소	매년 선원의 일자리 감소(2018-2035)
누적 선원 일자리 감소	누적되는 선원의 일자리 감소치(2018-2035)
MASS 연관 산업 총 고용 인력	매년 MASS 연관 산업 총 고용 인력(2018-2035) - 조선업+조선기자재업+해운항만물류업+수산업+해양자원개발업+육상관제요원+MASS 교원
MASS 연관 산업 총 고용 인력 누적	MASS 연관 산업 총 고용 인력들의 연간 누적치(2018-2035)
MASS 도입에 의한 연간 순수 고용 인력	MASS 연관 산업 총 고용 인력 - 연간 선원 일자리 감소
MASS 도입에 의한 연간 순수 고용 인력 누적치	MASS 연관 산업 순수 고용 인력의 매년 누적치(2018-2035)

Table 16 시뮬레이션에 적용된 수식의 정의

(1) 육상관제요원의 MASS 전문교육 이수율	0.9
(2) MASS 교원 소요량	$CEIL(RUNMAX('MASS 교육 대상 육상관제요원 인력 규모') / 'MASS 교원 인당 교육 인원수')$
(3) MASS 교원 인당 교육 인원수	10
(4) MASS 교육 대상 육상관제요원 인력 규모	'육상관제요원 소요량' / '육상관제요원 MASS 전문교육 이수율'
(5) MASS 기술수준 변화 시나리오_초기 발전형	1
(6) MASS 기술수준 변화 시나리오_기간 비례형	1
(7) MASS 기술수준 변화 시나리오_중반기 발전형	1
(8) MASS 기술수준 변화 시나리오_후반기 발전형	1
(9) MASS 기술수준 시나리오 적용 IF	$IF('MASS 적용 시나리오 선택'=0, 'MASS 기술수준 변화 시나리오_S1', IF('MASS 적용 시나리오 선택'=1, 'MASS 기술수준 변화 시나리오_S2', 'MASS 기술수준 변화 시나리오_S3', 'MASS 기술수준 변화 시나리오_S4'))$
(10) MASS 도입에 의한 연간 순수 고용 인력	$ABS('MASS 연관 산업 총 고용인력' - '연간 선원 일자리 감소')$
(11) MASS 연관 산업 총 고용 인력	'MASS 교원' + '육상관제요원' + '기간별 MASS 관련 산업 고용효과'
(12) MASS 선박 대당 SCO인원	3+0.5
(13) MASS 선박 선령	40
(14) MASS 선복 감소량	$0 * 'MASS 선복량' / 'MASS 선박 선령'$
(15) MASS 선복 증가량	$GRAPH ('MASS 기술수준 시나리오 적용 [INDEX(INTEGER(NUMBER(TIME))]), 0, 0.4, \{0, 0, 0, 0.9, 2.55, 4.5, 6.46, 7.95, 9.15, 9.5, 9.65\} / \text{Min: } -1; \text{Max: } 11 // \}$

(16) MASS 선복량	0
(17) MASS 선복량.MASS 선복 감소량.out	'MASS 선복 감소량'
(18) MASS 선복량.MASS 선복 증가량.in	'MASS 선복 증가량'
(19) MASS 적용 시나리오 선택	1
(20) MASS 전문교육 기간_ICT인력	1
(21) MASS 전문교육 기간_해기사 및 부원	1
(22) MASS 전문교육을 이수한 ICT인력	DELAYPPL ('MASS 교육 대상 ICT인력 규모'*'ICT 인력의 MASS 전문교육 이수율', 'MASS 전문교육 기간_ICT인력', 0)
(23) MASS 전문교육을 이수한 해기사 및 부원	DELAYPPL (('MASS에 의한 해기사 감소량'+ 'MASS에 의한 부원 감소량'), 'MASS 전문교육 기간_해기사 및 부원', 0)*'해기사 및 부원의 MASS 전문교육 이수율'
(24) MASS 척당 인력고용 효과	191 - 조선업(806명), 조선기자재업(53명), 해운항만물류업(7명), 수산업(10명), 해운자원개발업(38명)
(25) MASS로 인한 순수 해기사 및 부원 감소량	'MASS로 인한 인력 감소량' - 'MASS 전문교육을 이수한 해기사 및 부원'
(26) MASS로 인한 인력 감소량	'MASS에 의한 해기사 감소량'+ 'MASS에 의한 부원 감소량'
(27) MASS에 의한 부원 감소량	'MASS 선복량' * '척당 부원'
(28) MASS에 의한 해기사 감소량	'MASS 선복량' * '척당 해기사'
(29) SCO_Show Control Operator 소요량	'MASS 선복량' * 'MASS 선박 대당 SCO 인원'
(30) 기간별 MASS 관련산업 고용효과	'MASS 선복량' * 'MASS 척당 인력고용 효과'
(31) 부원	13319

(32) 척당 부원 20* 13319/35096

(33) 척당 해기사 20* 21777/35096

(34) 해기사 21777

(35) 해기사 및 부원의 MASS 전문 교육 이수율 0.9



제 4 장 실증분석 및 결과

4.1 시나리오에 따른 모델 분석 결과

본 연구의 시뮬레이션의 결과는 MASS의 기술발전이 4개의 유형으로 발전한다는 가정하에 연간 MASS 선복량과 누적된 MASS 선복량을 비교하고, 이때 부원과 해기사인 선원 일자리의 변화를 분석하였다. 또한 MASS 관련 산업으로 식별된 육상관제요원, MASS 교원, 조선업, 조선기자재업, 해운항만물류업, 수산업, 해양자원개발업 등의 신규 창출된 일자리의 규모를 분석하고 이를 선원 일자리 규모 변화와 비교 및 분석하였다.

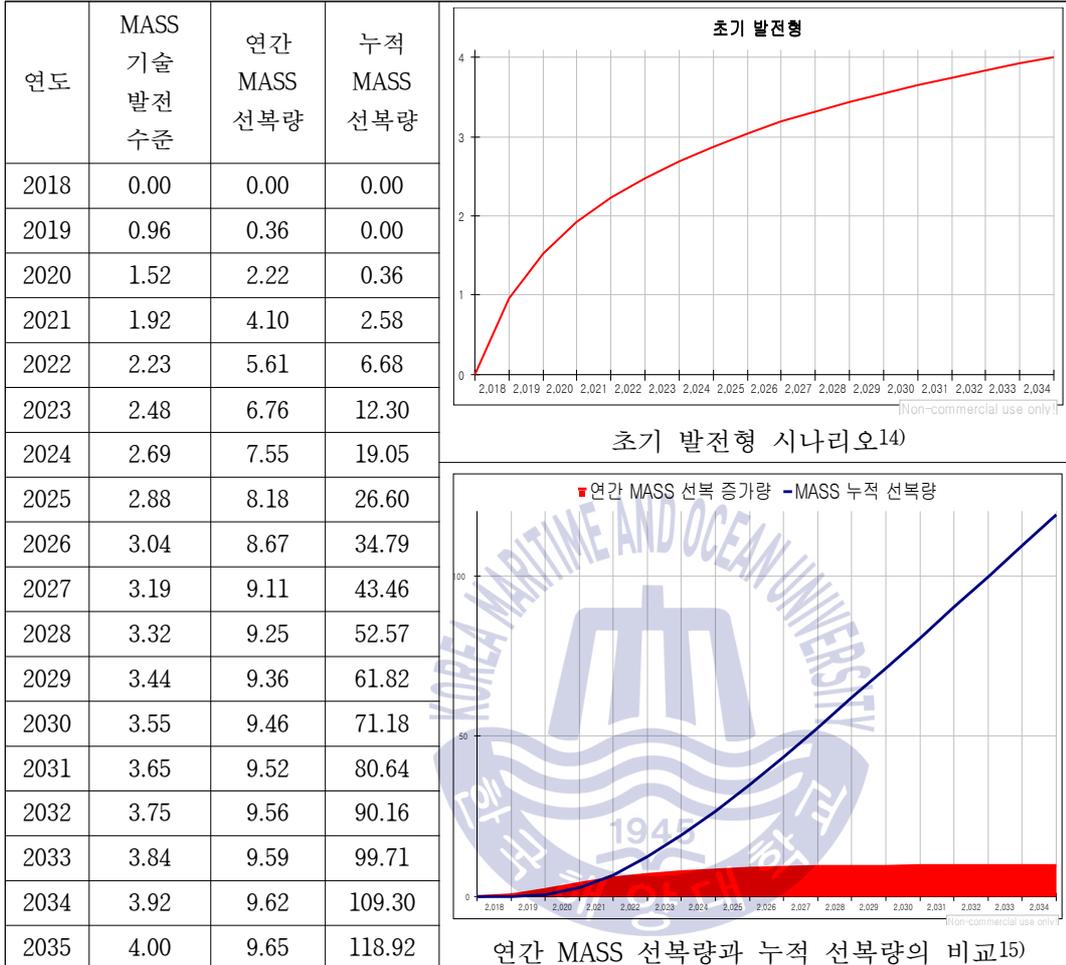
4.1.1 초기 발전형

초기 발전형은 MASS 개발이 초기에 기술 변화가 강하게 상승하는 것을 가정한 시나리오로 다음과 같은 결과를 나타내며 로그함수를 이용하였다.



(1) 초기 발전형의 MASS 선박량 추세

Table 17 초기 발전형의 MASS 선박량 추세



시뮬레이션 기간인 2018년부터 2035년까지 4단계의 MASS 기술 발단 수준으로 구분하고 연간 최대 건조 선박 척수를 최대 10척으로 임의 가정하였을 때 2020년에는 2척의 자율운항선박, 2035년에는 10척의 선박이 도입되었다. 이때 누적 MASS 선박량은 2035년에는 약 119척이 이르렀다.

14) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 기술 수준 4단계

15) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 선박량 척수

(2) 초기 발전형의 선원 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 감소된 해기사 및 부원의 일자리를 아래 그림¹⁶⁾과 표로 표시하였다. 초기 발전형 시나리오로 2020년과 2021년에 선복 증가가 큰 폭으로 발생하고, 그에 따라 선원의 일자리 감소 규모도 크게 나타났다. 2020년에 41명의 고용 감소가 발생하였고 2035년에는 연간 179명의 고용 감소가 발생할 것으로 전망되었다. 결과적으로 2035년까지 누적된 선원의 고용 감소 총 규모는 2,387명으로 분석되었다.

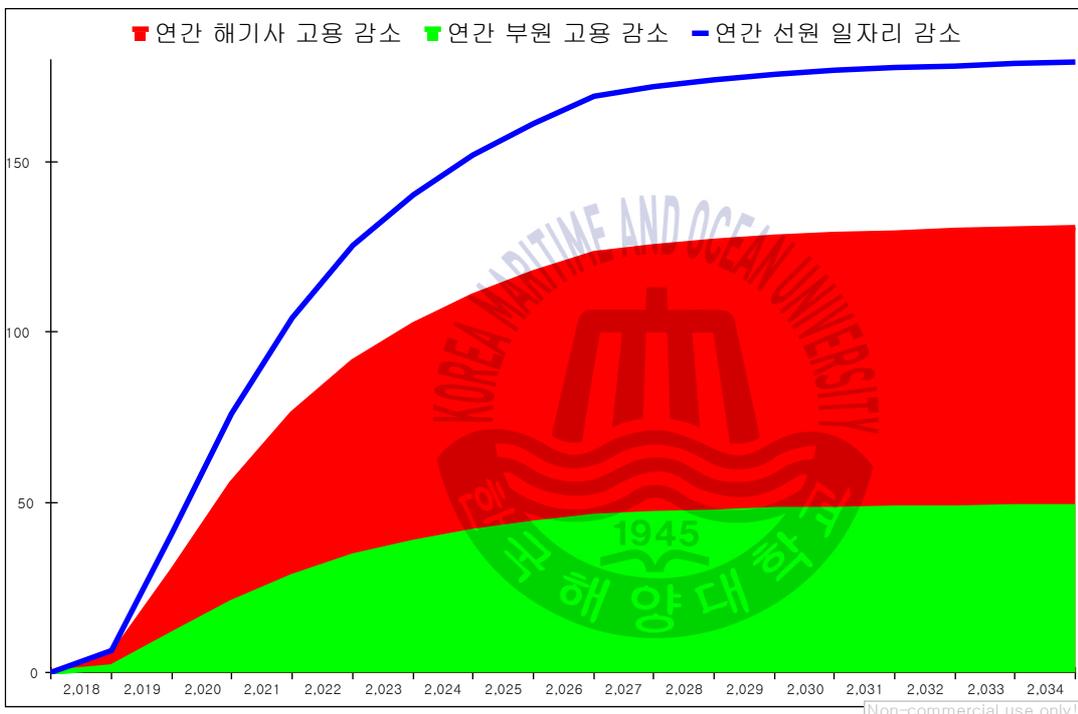


Fig. 23 초기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

16) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 선원 고용 감소 규모

Table 18 초기발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

연도	MASS 기술 발전 수준	연간 MASS 선복량	연간 해기사 고용 감소 (A)	연간 부원 고용 감소 (B)	연간 선원 고용 감소 (A+B)	누적 선원 고용 감소
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.96	0.36	4.84	1.81	6.65	6.65
2020	1.52	2.22	30.02	11.23	41.25	47.90
2021	1.92	4.10	55.44	20.74	76.18	124.08
2022	2.23	5.61	75.86	28.38	104.23	228.31
2023	2.48	6.76	91.30	34.15	125.45	353.76
2024	2.69	7.55	102.04	38.17	140.21	493.97
2025	2.88	8.18	110.58	41.36	151.94	645.90
2026	3.04	8.67	117.18	43.83	161.02	806.92
2027	3.19	9.11	123.10	46.05	169.14	976.07
2028	3.32	9.25	125.04	46.77	171.81	1,147.88
2029	3.44	9.36	126.46	47.31	173.77	1,321.65
2030	3.55	9.46	127.77	47.80	175.77	1,497.22
2031	3.65	9.52	128.63	48.12	176.75	1,673.97
2032	3.75	9.56	129.12	48.30	177.42	1,851.39
2033	3.84	9.59	129.57	48.47	178.04	2,029.43
2034	3.92	9.62	130.00	48.63	178.62	2,208.05
2035	4.00	9.65	130.40	48.78	179.17	2,387.22

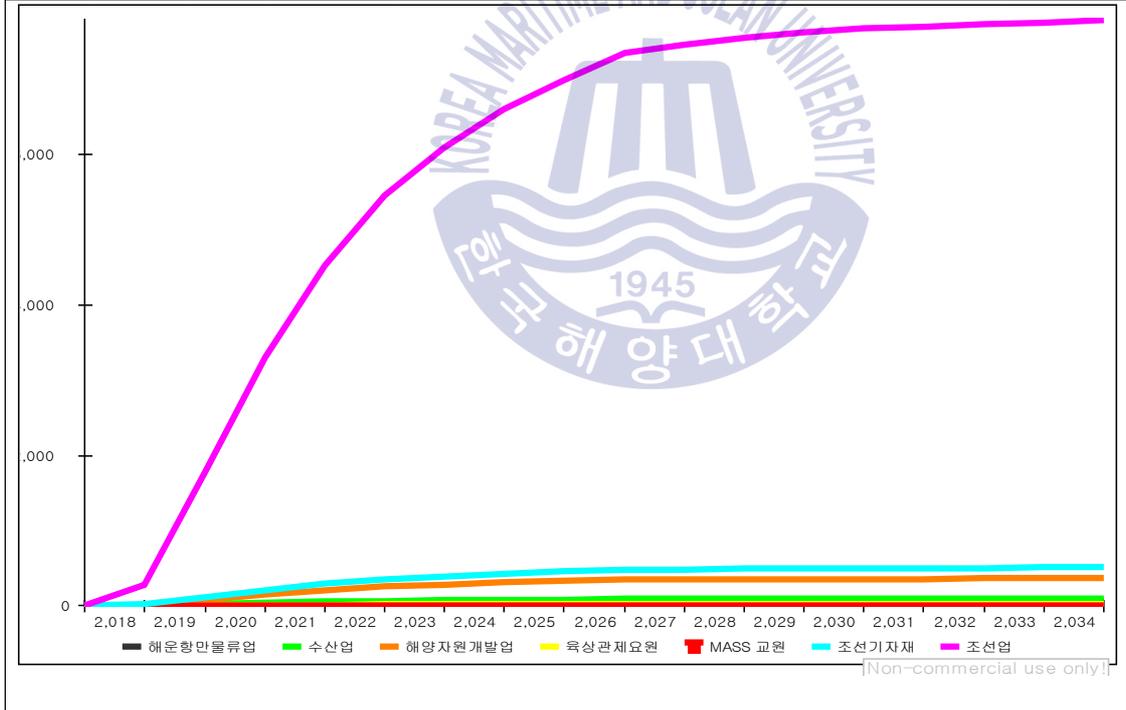
(3) 초기 발전형의 MASS 관련 산업의 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 자율운항선박 관련 해양산업의 신규 고용 일자리의 변화를 그림17)과 표로 나타내었다. 선행연구에서 고용효과가 가장 큰 것으로 조사된 조선업의 경우 2035년에는 8,868명이었으며 그 다음으로 조선기자재업이 7,778명 그리고 해운항만물류업은 연간 68명 정도의 고용 효과가 발생하였다. 2035년까지 누적된 관련 산업 총 고용 인력 누적치는 117,988명의 효과가 발생하는 것으로 분석되었다.

17) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 창출된 신규 일자리의 규모

Table 19 초기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화

연도	육상관 제요원 (A)	MASS 교원 (B)	조선업 (C)	조선기자 재업 (D)	해운항만 물류업 (E)	수산업 (F)	해양자원 개발업 (G)	MASS 연관 산업 총 고용인력	MASS 연관 산업 고용 인력 누적치
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	1.00	329.29	288.80	2.5	3.58	13.62	328.50	328.5
2020	1.25	1.00	2,041.60	1,790.57	15.55	22.22	84.42	2,032.75	2,361.25
2021	7.78	2.00	3,770.37	3,306.77	28.72	41.03	155.92	3,759.63	6,120.88
2022	14.36	3.00	5,159.10	4,524.74	39.30	56.14	213.32	5,148.39	11,269.27
2023	19.65	3.00	6,209.32	5,445.82	47.30	67.57	256.75	6,198.18	17,467.45
2024	23.65	3.00	6,939.60	6,086.31	52.86	75.51	286.95	6,928.50	24,395.95
2025	26.43	4.00	7,520.41	6,595.70	57.28	81.83	310.96	7,509.92	31,905.87
2026	28.64	4.00	7,969.80	6,989.83	60.71	86.72	329.55	7,959.08	39,864.95
2027	30.35	4.00	8,371.79	7,342.40	63.77	91.10	346.17	8,360.60	48,225.55
2028	31.88	4.00	8,504.11	7,458.44	64.78	92.54	351.64	8,493.72	56,719.27
2029	32.39	4.00	8,600.94	7,543.37	65.51	93.59	355.64	8,590.53	65,309.8
2030	32.76	4.00	8,690.01	7,621.49	66.19	94.56	359.33	8,679.49	73,989.29
2031	33.10	4.00	8,748.49	7,672.78	66.64	95.20	361.74	8,737.99	82,727.28
2032	33.32	4.00	8,781.40	7,701.64	66.89	95.55	363.10	8,770.94	91,498.22
2033	33.44	4.00	8,812.18	7,728.63	67.12	95.89	364.38	8,801.68	100,299.9
2034	33.56	4.00	8,841.09	7,753.99	67.34	96.20	365.57	8,830.55	109,130.45
2035	33.67	4.00	8,868.35	7,777.90	67.55	96.50	366.70	8,857.77	117,988.22



(4) 초기 발전형의 해양산업 인력의 고용 변화 규모

MASS 선박의 도입과 확산에 따라서 점차적으로 선원의 일자리의 수는 감소하고, 관련 산업의 신규 일자리의 수는 큰 규모의 변화로 아래 그림18)과 같이 발생하였다. 해양 산업의 고용인력 구조로 감소와 증가분의 차이를 순수 고용 효과라고 할 경우 2020년에는 연간 1,992명의 고용효과가 발생하였고 그 후에 점차 증가되어 2035년에는 연간 8,679명의 새로운 일자리가 발생하였다.

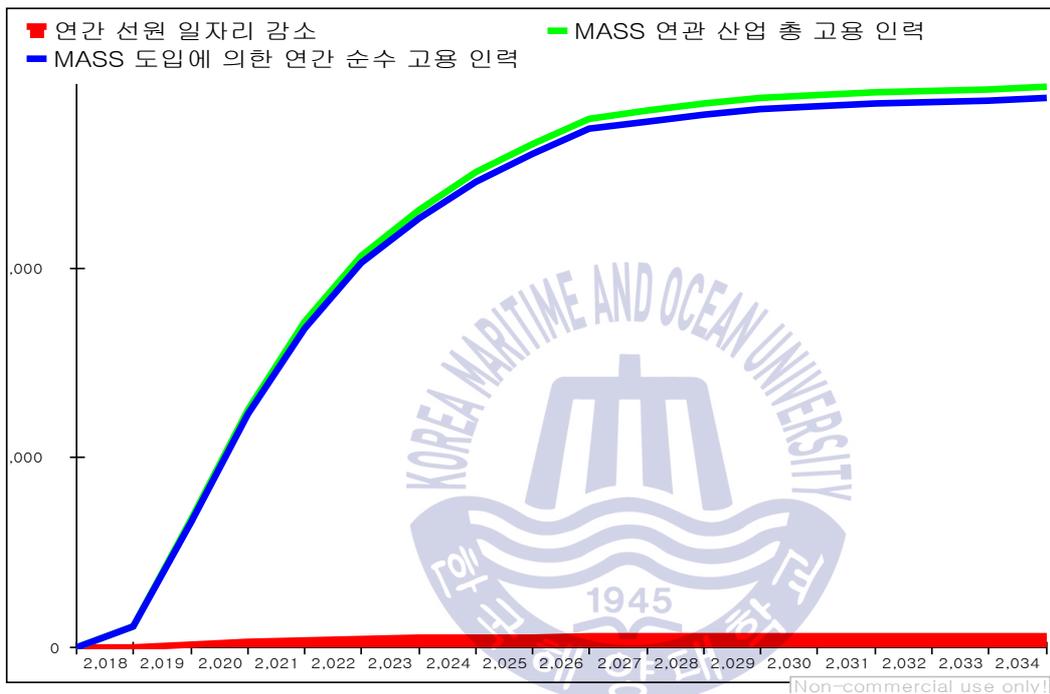


Fig. 24 초기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

18) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 일자리의 규모

Table 20 초기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

연도	(연간) MASS 연관 산업 총 고용인력	(연간) 선원 고용 감소	(연간) MASS 도입에 의한 순수 고용 인력 규모
2018	0.00	0.00	0.00
2019	328.50	6.65	321.85
2020	2,032.75	41.25	1,991.5
2021	3,759.63	76.18	3,683.45
2022	5,148.39	104.23	5,044.16
2023	6,198.18	125.45	6,072.73
2024	6,928.50	140.21	6,788.29
2025	7,509.92	151.94	7,357.98
2026	7,959.08	161.02	7,798.06
2027	8,360.60	169.14	8,191.46
2028	8,493.72	171.81	8,321.91
2029	8,590.53	173.77	8,416.76
2030	8,679.49	175.77	8,503.72
2031	8,737.99	176.75	8,561.24
2032	8,770.94	177.42	8,593.52
2033	8,801.68	178.04	8,623.64
2034	8,830.55	178.62	8,651.93
2035	8,857.77	179.17	8,678.6

(5) 시사점

초기 발전형 시나리오는 MASS 개발이 초기에 기술 변화가 강하게 상승하는 것을 가정한 시나리오로 로그함수를 이용하였다. 기술발전 단계는 총 4단계, 2035년까지 완전자율운항선박이 우리나라에 10척이 상용화된다는 가정을 하여 선원의 일자리 수는 179개가 감소, MASS 연관 산업 총 고용 인력은 8,857명으로 분석되었다. 따라서 순수 고용 인력은 8,679명으로 감소되는 선원에 비해 새로이 창출되는 해운산업인력으로 약 49배의 새로운 일자리가 발생하였다. 일자

리 창출효과가 대부분 선박 조선에 집중되어 있다. 이는 해양산업에서 조선업은 기술산업이자 노동집약산업이며, 연관산업의 동반성장 효과가 크기 때문에 동 연구에서도 가장 큰 일자리 창출 산업으로 분석되었다.

감소와 신규 창출되는 일자리의 규모의 차이가 가장 큰 시기는 2020년에서 2025년 사이로 감소되는 선원인력은 전체 기간 동안의 누적 선원 인력 2,387명 중 639명(27%)를 차지하였다. 이때 신규 창출되는 일자리의 규모는 전체 기간 동안의 누적 신규 일자리 118,633명 중 31,752명의 고용유발 효과가 발생하였다. 이는 전체 기간 동안 27%에 해당한다.

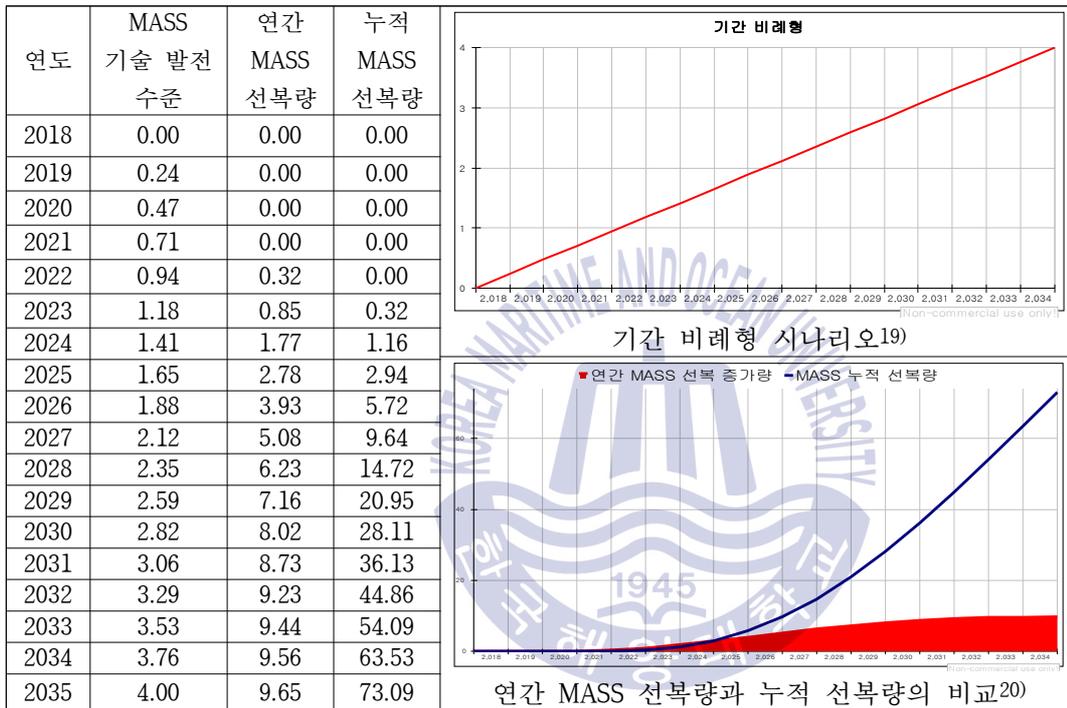


4.1.2 기간 비례형

기간 비례형은 MASS 개발이 시물레이션 기간 동안에 균등하게 증가하는 것을 가정한 시나리오로 다음과 같은 결과를 나타내며 비례함수를 이용하였다.

(1) 기간 비례형의 MASS 선복량 추세

Table 21 기간 비례형의 MASS 선복량 추세



시물레이션 기간인 2018년부터 2035년까지 4단계의 MASS 기술 발달 수준으로 구분하고 연간 최대 건조 선박 척수를 최대 10척으로 임의 가정하였을 때 2024년에는 2척의 자율운항선박, 2035년에는 10척의 선박이 도입되었다. 이때 누적 MASS 선복량은 2035년에는 약 73척이다.

19) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 기술 수준 4단계

20) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 선복량 척수

(2) 기간 비례형의 선원 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선박량 증가에 따른 감소된 해기사 및 부원의 일자리를 아래 그림²¹⁾과 표로 표시하였다. 기간 비례형 시나리오로 2024년에 첫 선박 도입과 함께 동일한 비율로 2035년까지 선박의 증가가 꾸준히 발생하고 그에 따른 선원 일자리의 감소도 나타난다. 결과적으로 2020년에 41명의 고용 감소가 발생하였고 2035년에는 연간 179명의 고용 감소가 발생할 것으로 전망되었다. 또한 2035년까지 누적된 선원의 고용 감소 총 규모는 1,536명으로 초기 발전형보다는 적은 것으로 분석되었다.

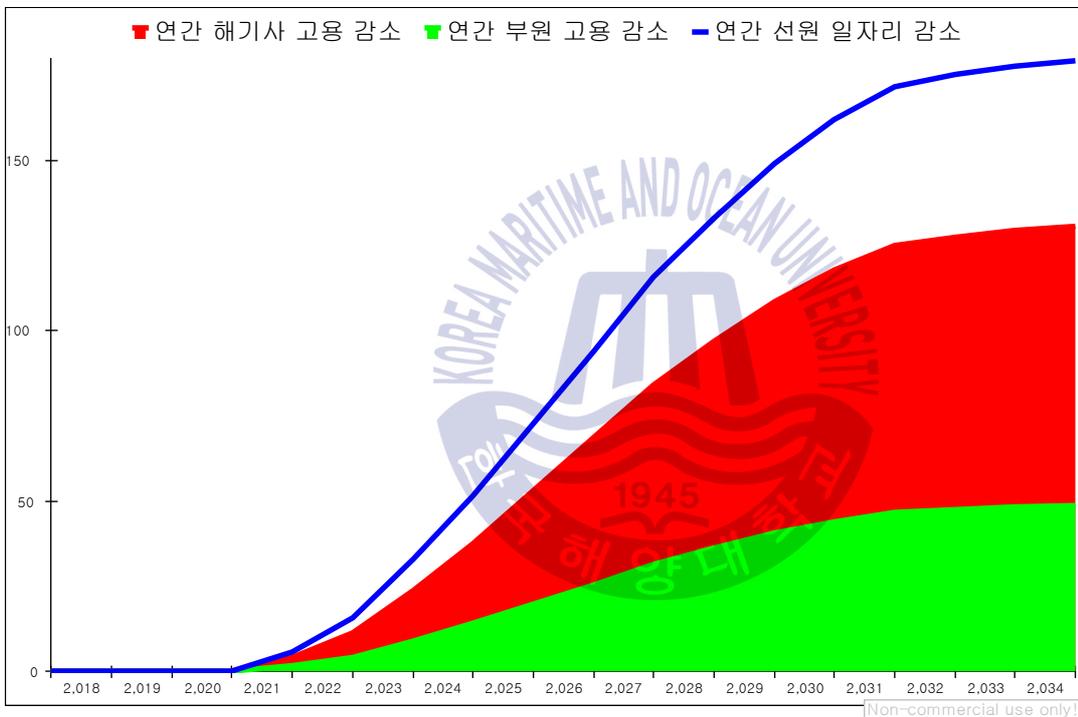


Fig. 25 기간 비례형의 선원 고용 인력 규모 변화

21) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 선원 고용 감소 규모

Table 22 기간 비례형의 선원 고용 인력 규모 변화

연도	MASS 기술 발전 수준	연간 MASS 선복량	연간 해기사 고용 감소 (A)	연간 부원 고용 감소 (B)	연간 선원 고용 감소 (A+B)	누적 선원 고용 감소
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.94	0.32	4.29	1.61	5.9	5.9
2023	1.18	0.85	11.45	4.28	15.73	21.63
2024	1.41	1.77	23.96	8.96	32.93	54.55
2025	1.65	2.78	37.56	14.05	51.61	106.16
2026	1.88	3.93	53.06	19.85	72.90	179.06
2027	2.12	5.08	68.60	25.66	94.26	273.32
2028	2.35	6.23	84.18	31.49	115.66	388.98
2029	2.59	7.16	96.77	36.20	132.96	521.95
2030	2.82	8.02	108.38	40.54	148.92	670.86
2031	3.06	8.73	117.92	44.11	162.03	832.89
2032	3.29	9.23	124.75	46.67	171.42	1,004.31
2033	3.53	9.44	127.53	47.71	175.24	1,179.55
2034	3.76	9.56	129.20	48.33	177.53	1,357.09
2035	4.00	9.65	130.40	48.78	179.17	1,536.26

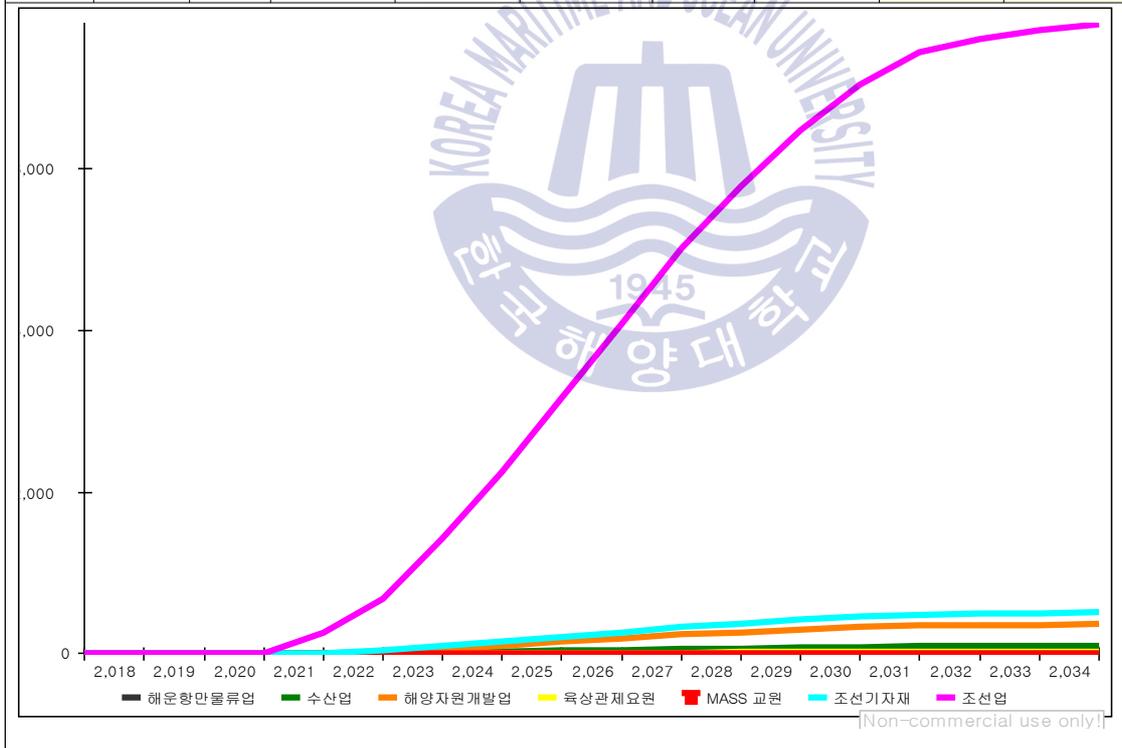
(3) 기간 비례형의 MASS 관련 산업의 일자리

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 자율운항선박 관련 해양산업의 신규 고용 일자리의 변화를 그림²²⁾과 표로 나타내었다. 선행연구에서 고용효과가 가장 큰 것으로 조사된 조선업의 경우 2035년에는 8,868명이었으며 그 다음으로 조선기자재업이 7,778명 그리고 해운항만물류업은 연간 68명 정도의 고용 효과가 발생하였다. 2035년까지 누적된 관련 산업 총 고용 인력은 75,920명의 고용 효과가 발생하였으나 초기 발전정보다는 작은 수치로 비교되었다.

22) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 창출된 신규 일자리의 규모

Table 23 기간 비례형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화 추세

연도	육상관 제요원 (A)	MASS 교원 (B)	조선업 (C)	조선기자 재업 (D)	해운항만 물류업 (E)	수산업 (F)	해양자원 개발업 (G)	MASS 연관 산업 총 고용인력	MASS 연관 산업 고용 인력 누적치
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.00	1.00	256.02	16.84	2.22	3.18	12.07	291.33	291.33
2023	1.11	1.00	682.73	44.89	5.93	8.47	32.19	776.32	1,067.65
2024	2.96	1.00	1429.46	94.00	12.41	17.74	67.39	1,624.97	2,692.62
2025	6.21	2.00	2240.21	147.31	19.46	27.79	105.62	2,548.59	5,241.21
2026	9.73	2.00	3164.74	208.10	27.49	39.26	149.21	3,600.52	8,841.74
2027	13.74	2.00	4091.64	269.05	35.54	50.76	192.91	4,655.64	13,497.37
2028	17.77	3.00	5020.91	330.16	43.61	62.29	236.72	5,714.45	19,211.82
2029	21.80	3.00	5771.91	379.54	50.13	71.61	272.12	6,570.12	25,781.94
2030	25.06	4.00	6464.59	425.09	56.14	80.21	304.78	7,359.88	33,141.82
2031	28.07	4.00	7033.54	462.50	61.09	87.26	331.61	8,008.07	41,149.89
2032	30.54	4.00	7441.28	489.31	64.63	92.32	350.83	8,472.91	49,622.80
2033	32.31	4.00	7607.22	500.23	66.07	94.38	358.65	8,662.86	58,258.66
2034	33.03	4.00	7706.78	506.77	66.93	95.62	363.35	8,776.49	67,062.15
2035	33.47	4.00	7,777.90	511.45	67.55	96.50	366.70	8,857.57	75,919.71



(4) 기간 비례형의 해양산업 인력의 고용 변화 규모

MASS 선박의 도입과 확산에 따라서 점차적으로 선원의 일자리의 수는 감소하고, 관련 산업의 신규 일자리의 수는 큰 규모의 변화로 아래 그림²³⁾과 같이 발생하였다. 해양 산업의 고용인력 구조로 감소와 증가분의 차이를 순수 고용 효과라고 할 경우 자율운항선박이 첫 도입된 2022년에는 연간 285명의 고용효과가 발생하였고 그 후에 점차 증가되어 2035년에는 연간 8,679명의 새로운 일자리가 발생하였다.

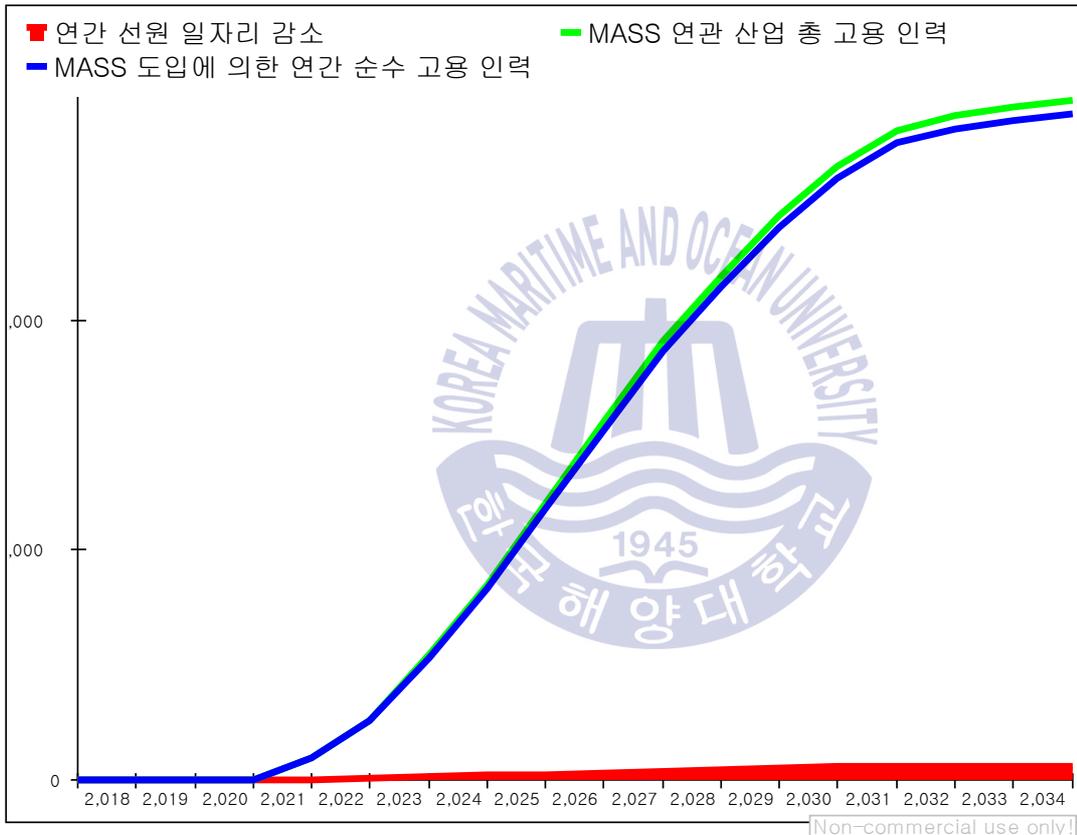


Fig. 26 기간 비례형의 해운 인력의 고용 규모 변화

23) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 일자리의 규모

Table 24 기간 비례형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

연도	(연간)MASS 연관 산업 총 고용인력	(연간) 선원 고용 감소	(연간) MASS 도입에 의한 순수 고용 인력 규모
2018	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00
2022	291.92	5.9	285.02
2023	776.32	15.73	760.60
2024	1,624.97	32.93	1,592.04
2025	2,548.59	51.61	2,496.98
2026	3,600.52	72.90	3,527.62
2027	4,655.64	94.26	4,561.38
2028	5,714.45	115.66	5,598.79
2029	6,570.12	132.96	6,437.16
2030	7,359.88	148.92	7,210.96
2031	8,008.07	162.03	7,846.04
2032	8,472.91	171.42	8,301.49
2033	8,662.86	175.24	8,487.62
2034	8,776.49	177.53	8,598.95
2035	8,857.57	179.17	8,678.39

(5) 시사점

기간 비례형 시나리오는 MASS 개발이 시뮬레이션 기간 동안에 균등하게 증가하는 것을 가정한 시나리오로 비례함수를 이용하였다. 기술발전 단계는 총 4 단계, 2035년까지 완전자율운항선박이 우리나라에 10척이 상용화된다는 가정 하에 누적된 선원의 감소 일자리 수는 1,536명인 반면 누적된 MASS 연관 산업 총 고용 인력은 75,919명의 고용유발 효과가 발생하였다. 초기 발전형과 같은 결과로 감소되는 인력에 비해 새로 창출되는 고용유발 효과는 약 50배이다.

기간 비례형 시나리오에서 가장 감소와 창출되는 규모의 변화가 큰 시기는 2024년에서 2030년 사이로 감소 선원인력은 전체 기간 동안의 누적 감소 선원인력 1,536명 중 649명(42%)를 차지하였다. 이때 신규 창출되는 일자리의 규모는 전체 기간 동안의 누적 신규 일자리 76,332명 중 32,249명의 고용 효과가 발생하였다. 이는 누적된 신규 일자리 중 42%에 해당하는 것으로 전체 기간 중 가장 많은 일자리의 규모 변화 기간으로 분석되었다.

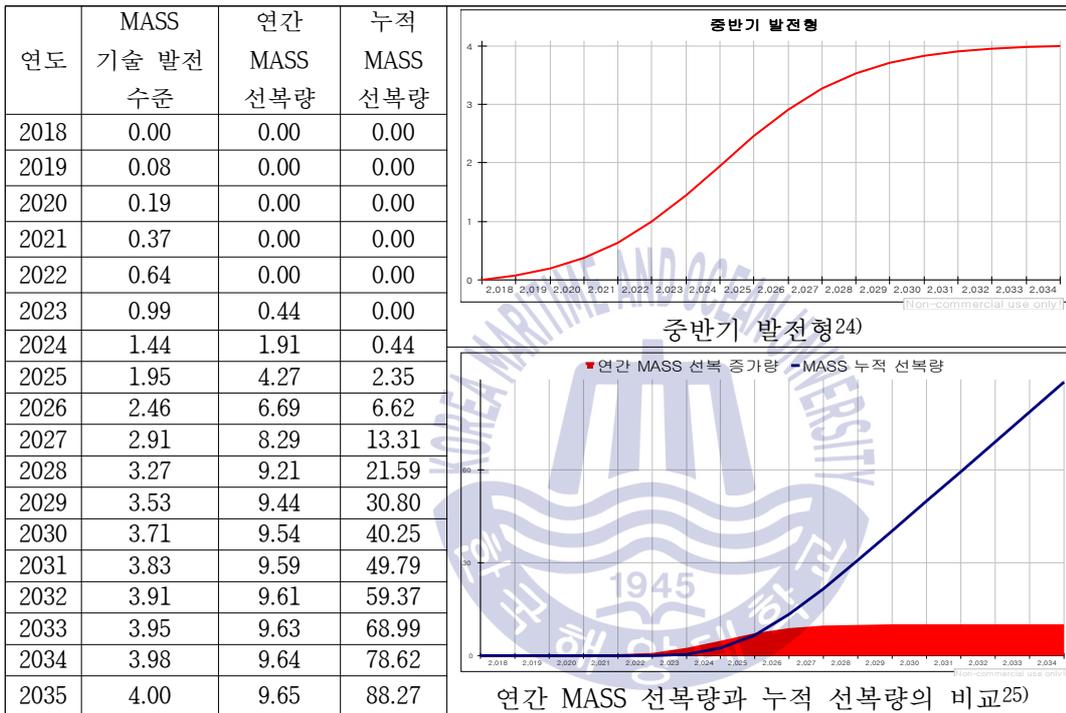


4.1.3 중반기 발전형

로지스틱 함수를 이용한 중반기 발전형 시나리오는 MASS 개발이 초기, 후반보다 중반에 기술 개발 변화가 더 많을 것으로 가정하고 다음과 같이 분석되었다.

(1) 중반기 발전형의 MASS 선복량 추세

Table 25 중반기 발전형의 MASS 선복량 추세



시뮬레이션 기간인 2018년부터 2035년까지 4단계의 MASS 기술 발달 수준으로 구분하고 연간 최대 건조 선박 척수를 최대 10척으로 임의 가정하였을 때 2024년에는 2척의 자율운항선박, 2035년에는 10척의 선박이 도입되었다. 2035년까지의 누적 MASS 선복량은 약 88척이 이르렀다.

24) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 기술 수준 4단계

25) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 선복량 척수

(2) 중반기 발전형의 선원 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 감소된 해기사 및 부원의 일자리를 아래 그림²⁶⁾과 표로 표시하였다. 중반기 발전형으로 약 2025년쯤에 선박 도입이 본격적으로 발생하고, 그에 따라 선원의 일자리 감소 규모도 크게 나타났다. 2020년에 79명의 고용 감소가 발생하였고 2035년에는 연간 179명의 고용 감소가 발생할 것으로 전망되었다. 결과적으로 2035년까지 누적된 선원의 고용 감소 총 규모는 1,818명으로 분석되었다.

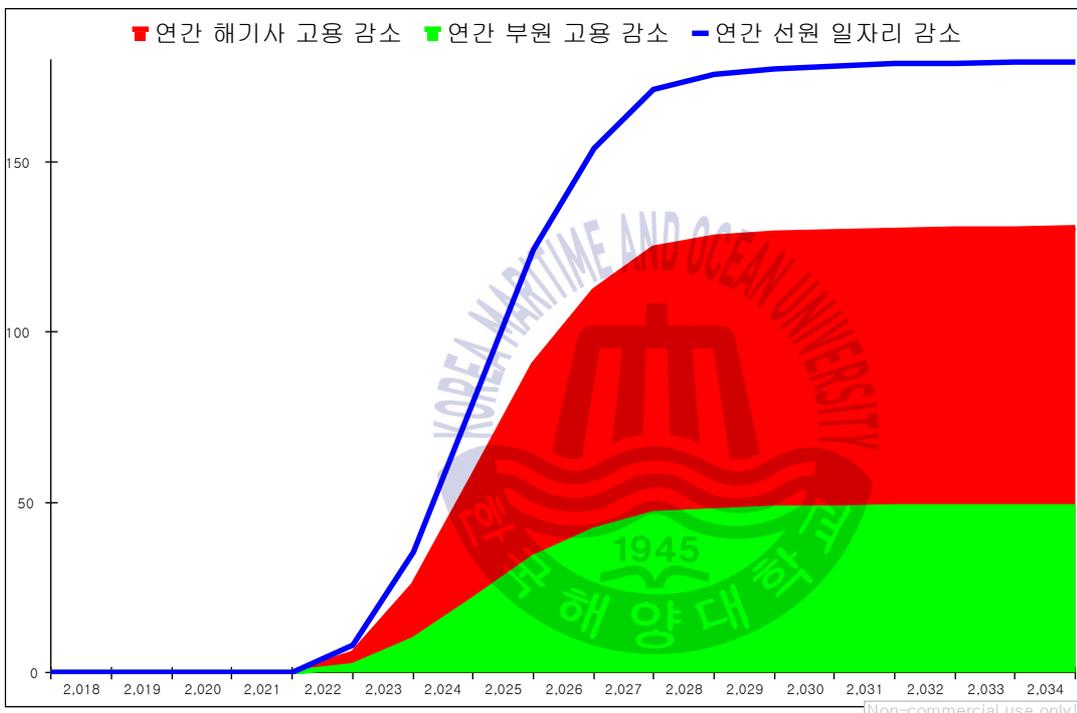


Fig. 27 중반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

26) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 선원 고용 감소 규모

Table 26 중반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

연도	MASS 기술 발전 수준	연간 MASS 선복량	연간 해기사 고용 감소 (A)	연간 부원 고용 감소 (B)	연간 선원 고용 감소 (A+B)	누적 선원 고용 감소
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2023	0.99	0.44	5.91	2.21	8.12	8.12
2024	1.44	1.91	25.81	9.66	35.47	43.59
2025	1.95	4.27	57.72	21.59	79.30	122.89
2026	2.46	6.69	90.37	33.81	124.18	247.07
2027	2.91	8.29	111.96	41.88	153.84	400.91
2028	3.27	9.21	124.48	46.56	171.04	571.95
2029	3.53	9.44	127.58	47.72	175.30	747.25
2030	3.71	9.54	128.94	48.23	177.17	924.42
2031	3.83	9.59	129.54	48.46	178.00	1,105.42
2032	3.91	9.61	129.92	48.60	178.52	1,280.94
2033	3.95	9.63	130.16	48.69	178.85	1,459.79
2034	3.98	9.64	130.31	48.74	179.05	1,638.84
2035	4.00	9.65	130.40	48.78	179.17	1,818.01

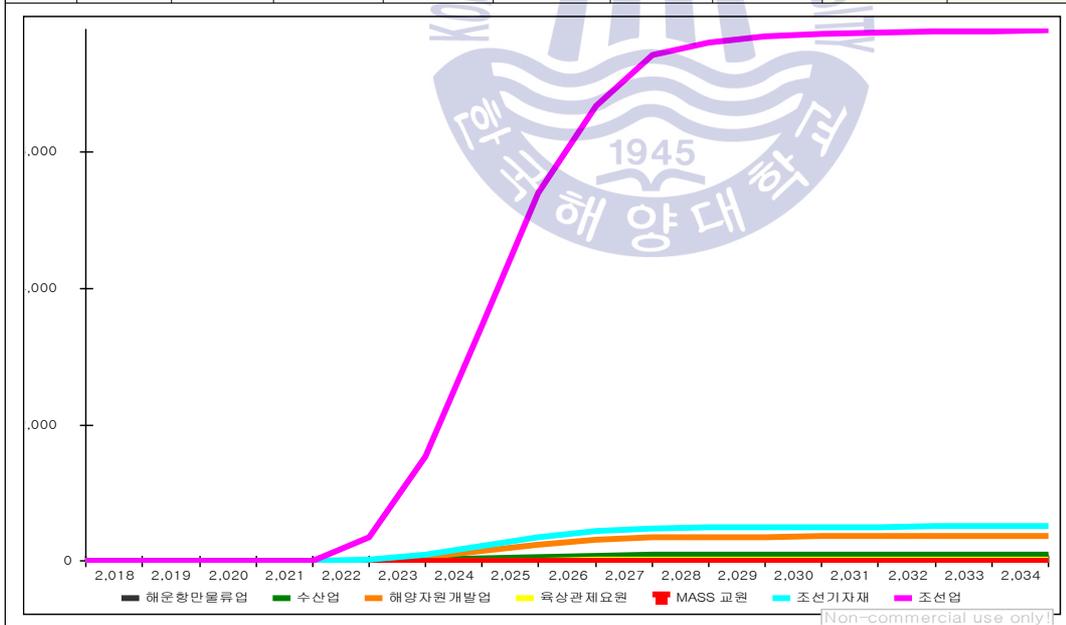
(3) 중반기 발전형의 MASS 관련 산업의 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 자율운항선박 관련 해양산업의 신규 고용 일자리의 변화를 그림²⁷⁾과 표로 나타냈다. 선행연구에서 고용효과가 가장 큰 조선업의 경우 2035년에는 7,778명이었으며 그 다음으로 조선기자재업이 511명 그리고 해운항만물류업은 연간 68명 정도의 고용 효과가 발생하였다. 2035년까지 누적된 관련 산업 총 고용 인력은 89,847명의 고용 효과가 발생하였으나 이는 초기 발전형 117,988명 보다는 작은 것으로 비교되었다.

27) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 창출된 신규 일자리의 규모

Table 27 중반기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화

연도	육상관 제요원 (A)	MASS 교원 (B)	조선업 (C)	조선기 자재업 (D)	해운항만 물류업 (E)	수산업 (F)	해양자 원개발 업 (G)	MASS 연관 산업 총 고용인력	MASS 연관 산업 고용 인력 누적치
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2023	0.00	1.00	352.39	23.17	3.06	4.37	16.61	400.61	400.61
2024	1.54	1.00	1,539.76	101.25	13.37	19.10	72.59	1,748.61	2,149.22
2025	6.69	2.00	3,442.61	226.37	29.90	42.71	162.31	3,912.58	6,061.81
2026	14.95	3.00	5,390.52	354.46	46.82	66.88	254.14	6,130.77	12,192.58
2027	23.41	4.00	6,678.10	439.13	58.00	82.85	314.85	7,600.33	19,792.91
2028	29.00	4.00	7,424.87	488.23	64.48	92.12	350.05	8,452.73	28,245.65
2029	32.24	4.00	7,609.85	500.40	66.09	94.42	358.78	8,665.78	36,911.43
2030	33.05	4.00	7,691.16	505.75	66.80	95.42	362.61	8,758.78	45,670.20
2031	33.40	4.00	7,726.81	508.09	67.11	95.87	364.29	8,799.57	54,469.77
2032	33.55	4.00	7,749.53	509.58	67.30	96.15	365.36	8,825.48	63,295.25
2033	33.65	4.00	7,763.74	510.52	67.43	96.32	366.03	8,841.69	72,136.94
2034	33.71	4.00	7,772.51	511.10	67.50	96.43	366.45	8,851.71	80,988.65
2035	33.75	4.00	7,777.90	511.45	67.55	96.50	366.70	8,857.85	89,846.50



(4) 중반기 발전형의 해양산업 인력의 고용 변화 규모

MASS 선박의 도입과 확산에 따라서 점차적으로 선원의 일자리의 수는 감소하고, 관련 산업의 신규 일자리의 수는 큰 규모의 변화로 아래 그림²⁸⁾과 같이 발생하였다. 해양 산업의 고용인력 구조로 감소와 증가분의 차이를 순수 고용 효과라고 할 경우 자율운항선박이 첫 도입된 해인 2023년에는 연간 1,713명의 고용효과가 발생하였고 그 후에 점차 증가되어 2035년에는 연간 8,679명의 새로운 일자리가 발생하였다.

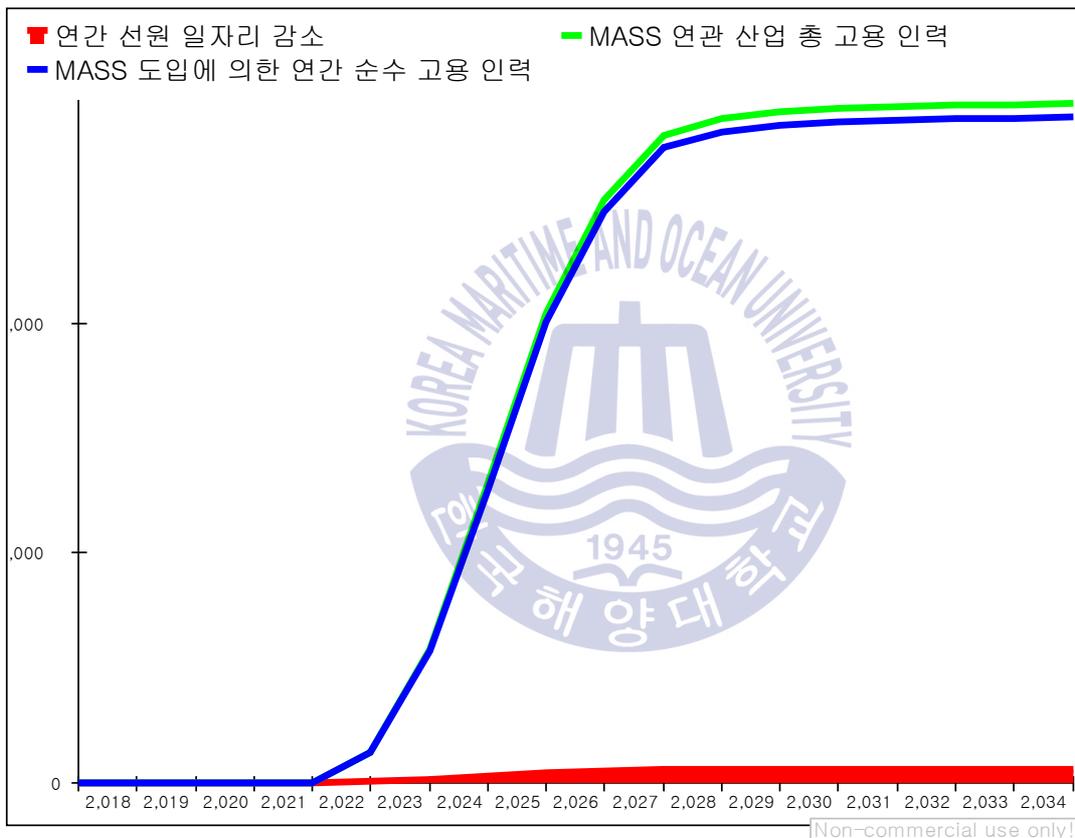


Fig. 28 중반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

28) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 일자리의 규모

Table 28 중반기 발전형의 고용 인력 규모 변화

연도	(연간) MASS 연관 산업 총 고용인력	(연간) 선원 고용 감소	(연간) MASS 도입에 의한 순수 고용 인력 규모
2018	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00
2022	0.00	0.00	0.00
2023	400.61	8.12	392.50
2024	1,748.61	35.47	1,713.14
2025	3,912.58	79.30	3,833.28
2026	6,130.77	124.18	6,006.59
2027	7,600.33	153.84	7,446.50
2028	8,452.73	171.04	8,281.69
2029	8,665.78	175.30	8,490.48
2030	8,758.78	177.17	8,581.60
2031	8,799.57	178.00	8,621.57
2032	8,825.48	178.52	8,646.96
2033	8,841.69	178.85	8,662.84
2034	8,851.71	179.05	8,672.66
2035	8,857.85	179.17	8,678.68

(5) 시사점

중반기 발전형 시나리오는 MASS 개발이 초기나 후반보다 중반에 기술 개발 변화가 큰 것으로 가정하고 로지스틱 함수를 이용하였다. 결과적으로 가장 큰 해양산업인력의 변화 규모가 발생한 시기는 2024년에서 2027년 사이로 분석되었다.

동 시나리오에서 선원의 누적된 감소 일자리 수는 2035년까지 1,818명이며 누적된 MASS 연관 산업 총 고용 인력은 89,846명이다. 누적된 순수 고용효과는

88,029로 분석되었다. 앞의 초기와 기간 비례형과 같은 결과로 감소되는 인력에 비해 새로 창출되는 고용효과는 약 50배로 동일하다. 산업으로 구분하였을 때 조선업이 가장 높은 일자리 창출의 효과가 있는 것으로 분석되었다.

또한 가장 많은 일자리 감소와 가장 규모가 큰 신규 일자리 창출시기는 2024년에서 2027년 사이이다. 동 기간 동안 감소되는 선원 인력은 1,818명 중 392명(22%)를 차지하였고, 신규 창출되는 일자리의 규모는 전체 기간 동안의 누적 신규 일자리 88,029명 중 19,498명의 고용 효과가 발생하였다. 이는 누적된 신규 일자리 중 22%에 해당하는 것으로 전체 기간 중 가장 많은 일자리의 규모 변화 기간으로 분석되었다.

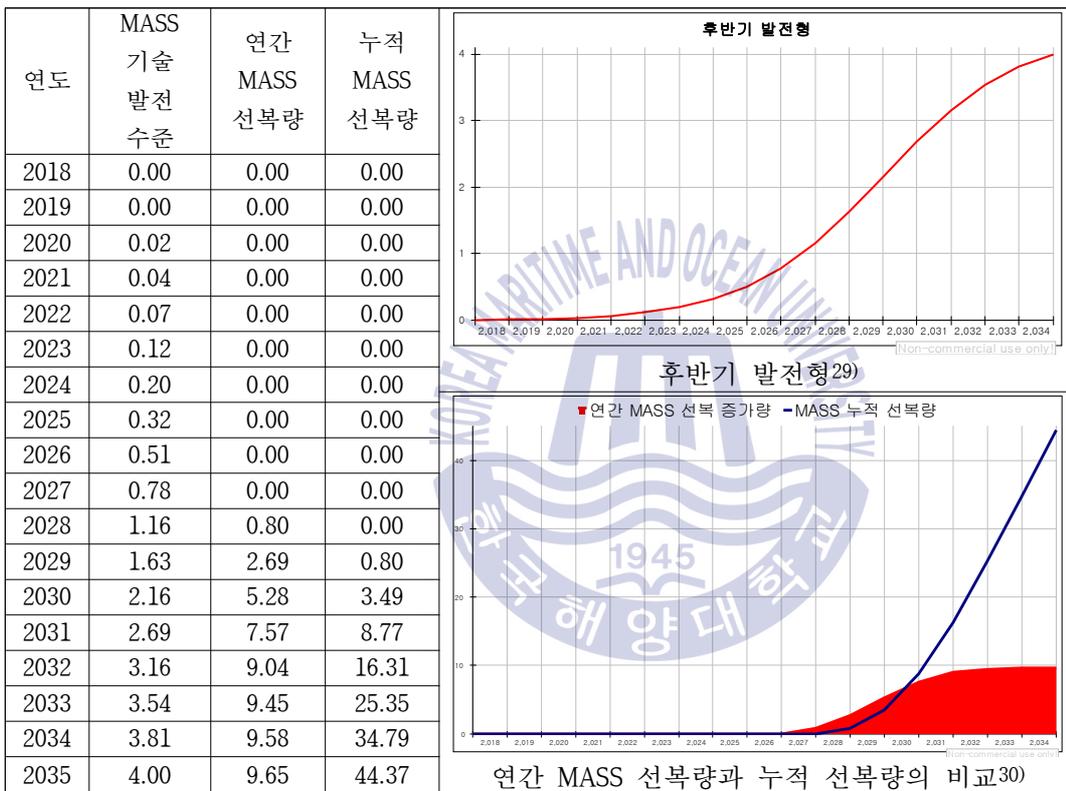


4.1.4 후반기 발전형

후반기 발전형 시나리오는 MASS 개발이 초기나 중반보다 후반에 기술 개발 변화가 더 많이 상승하는 것을 가정한 시나리오로 다음과 같은 결과를 나타내며 로지스틱 함수를 이용하였다.

(1) 후반기 발전형의 MASS 선복량 추세

Table 29 후반기 발전형의 MASS 선복량 추세



시뮬레이션 기간인 2018년부터 2035년까지 4단계의 MASS 기술 발달 수준으로 구분하고 연간 최대 건조 선박 척수를 최대 10척으로 임의 가정하였을 때

29) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 기술 수준 4단계

30) 그림의 범례: 표의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 MASS 선복량 척수

자율운항선박이 첫 도입되는 2029년에 2척으로 시작되어 2035년에는 10척의 선박이 도입됨을 가정하였다. 이때 누적 MASS 선박량은 2035년에 약 44척으로 초기 발전형, 기간 비례형 및 중반기 발전형에 비해 가장 작은 선박 척이다.

(2) 후반기 발전형의 선원 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선박량 증가에 따른 감소된 해기사 및 부원의 일자리를 아래 그림³¹⁾과 표로 표시하였다. 후반기 발전형으로 2029년에 처음으로 선박이 도입되고 2035년까지 선박은 10척 도입됨에 따라 선원의 일자리 감소는 후반기에 크게 나타났다. 2029년에 49명의 고용 감소가 발생하였고 2035년에는 연간 179명의 고용 감소가 발생할 것으로 전망되었다. 결과적으로 2035년까지 누적된 선원의 고용 감소 총 규모는 1,003명으로 가장 작은 일자리 감소 형태로 분석되었다.

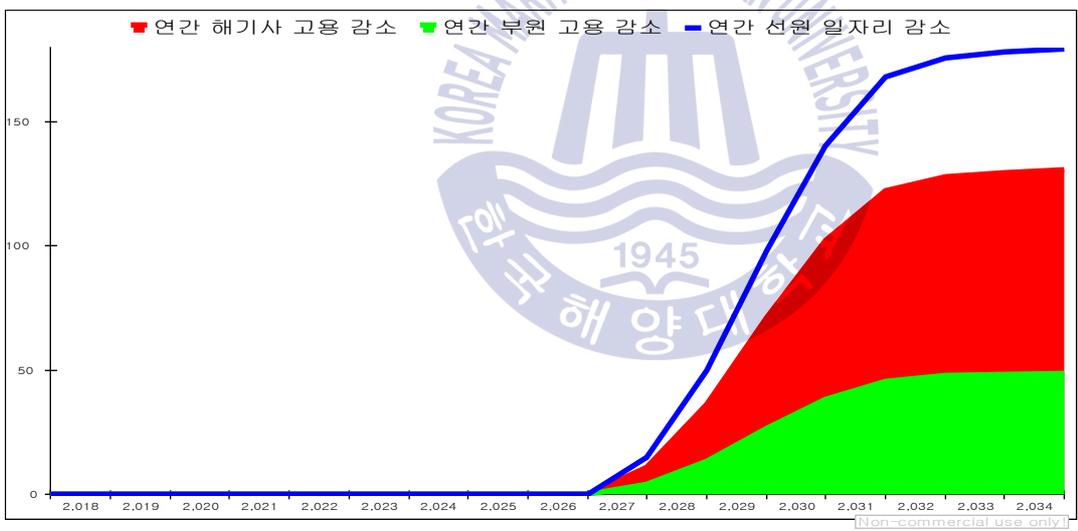


Fig. 29 후반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

31) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 선원 고용 감소 규모

Table 30 후반기 발전형의 선원 고용 인력 규모 변화

연도	MASS 기술 발전 수준	연간 MASS 선복량	연간 해기사 고용 감소 (A)	연간 부원 고용 감소 (B)	연간 선원 고용 감소 (A+B)	누적 선원 고용 감소
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2023	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2024	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2025	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2026	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2027	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2028	1.16	0.80	10.84	4.05	14.89	14.89
2029	1.63	2.69	36.29	13.57	49.86	64.75
2030	2.16	5.28	71.35	26.69	98.04	162.79
2031	2.69	7.57	101.92	38.13	140.05	302.84
2032	3.16	9.04	122.10	45.67	167.77	470.62
2033	3.54	9.45	127.63	47.74	175.37	645.99
2034	3.81	9.58	129.44	48.42	177.86	823.85
2035	4.00	9.65	130.40	48.78	179.17	1,003.03

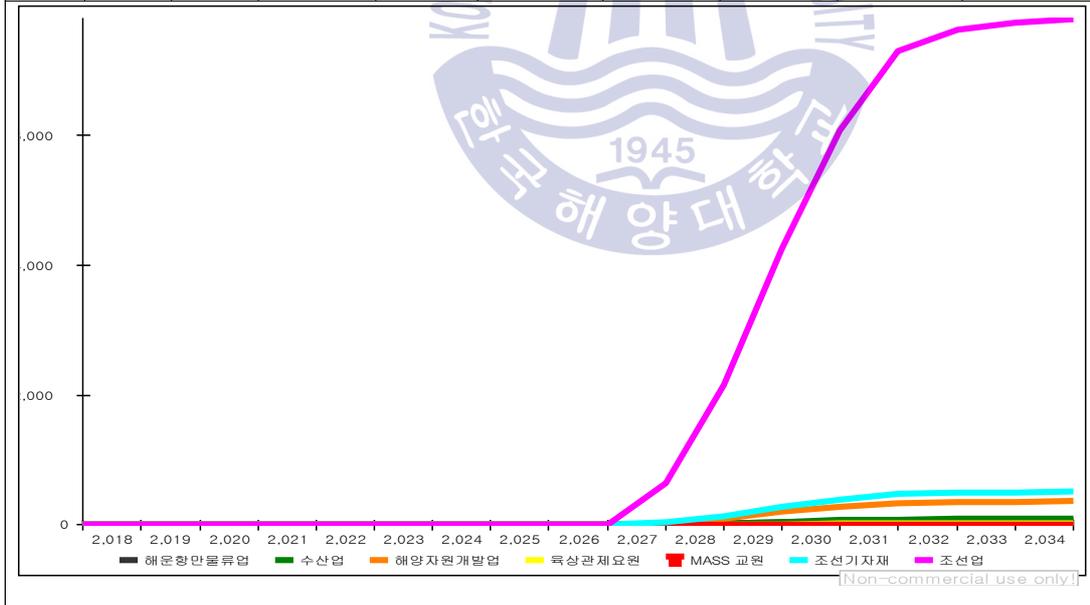
(3) 후반기 발전형의 MASS 관련 산업의 일자리 변화 추세

2018년부터 2035년 사이에 연간 MASS 선복량 증가에 따른 자율운항선박 관련 해양산업의 신규 고용 일자리의 변화를 그림³²⁾과 표로 나타내었다. 선행연구에서 고용효과가 가장 큰 것으로 조사된 조선업의 경우 2035년에는 8,868명이었으며 그 다음으로 조선기자재업이 7,778명 그리고 해운항만물류업은 연간 68명 정도의 고용 효과가 발생하였다. 2035년까지 누적된 관련 산업 총 고용 인력은 49,556명의 효과가 발생하였고, 다른 시나리오 유형에 비해 가장 낮은 고용유발효과로 비교되었다.

32) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 창출된 신규 일자리의 규모

Table 31 후반기 발전형의 관련 산업 고용 인력 규모 변화

연도	육상 관계 요원(A)	MASS 교원 (B)	조선업 (C)	조선기 자재업 (D)	해운항만 물류업 (E)	수산업 (F)	해양자원 개발업 (G)	MASS 연관 산업 총 고용인력	MASS 연관 산업 고용 인력 누적치
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2024	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2025	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2027	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2028	0.00	1.0	646.44	42.51	5.6	8.02	30.48	734.06	734.68
2029	2.81	2.0	2,164.44	142.33	18.80	26.85	102.05	2,459.28	3,193.34
2030	9.40	3.0	4,255.92	279.86	36.96	52.80	200.65	4,838.59	8,031.93
2031	18.48	3.0	6,079.58	399.77	52.80	75.43	286.63	6,915.70	14,947.63
2032	26.40	4.0	7,283.08	478.91	63.25	90.36	343.37	8,289.38	23,237.01
2033	31.63	4.0	7,612.92	500.60	66.12	94.45	358.92	8,668.64	31,905.65
2034	33.06	4.0	7,721.04	507.71	67.06	95.79	364.02	8,792.68	40,698.34
2035	33.53	4.0	7,777.90	511.45	67.55	96.50	366.70	8,857.63	49,555.96



(4) 후반기 발전형의 해양산업 인력의 고용 변화 규모

MASS 선박의 도입과 확산에 따라서 점차적으로 선원의 일자리의 수는 감소하고, 관련 산업의 신규 일자리의 수는 큰 규모의 변화로 아래 그림³³⁾과 같이 발생하였다. 해양 산업의 고용인력 구조로 감소와 증가분의 차이를 순수 고용 효과라고 할 경우 2029년에는 연간 2,409명의 고용효과가 발생하였고 그 후에 점차 증가되어 2035년에는 연간 8,679명의 새로운 일자리가 발생하였다.

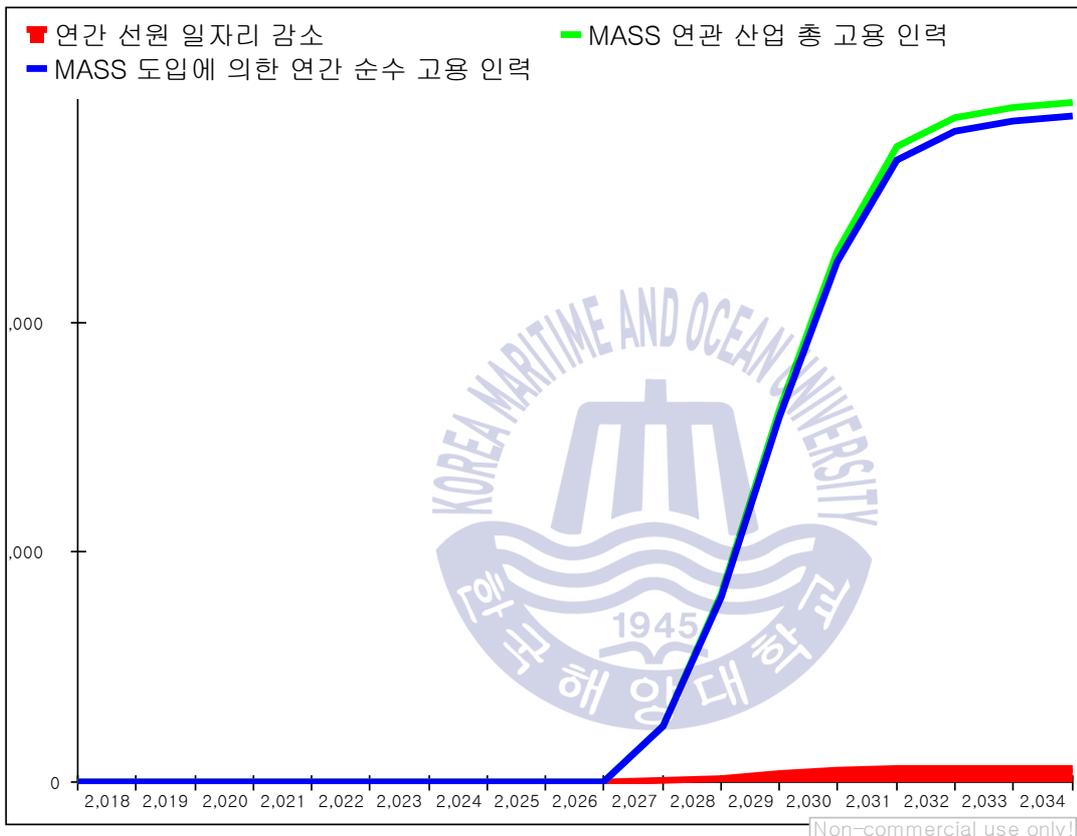


Fig. 30 후반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

33) 그림의 범례: 그림의 x축은 연도(2018년부터 2035년), y축은 일자리의 규모

Table 32 후반기 발전형의 해양산업 고용 인력 규모 변화

연도	MASS 연관 산업 총 고용인력	연간 선원 고용 감소	MASS 도입에 의한 연간 순수 고용 인력 규모
2018	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00
2022	0.00	0.00	0.00
2023	0.00	0.00	0.00
2024	0.00	0.00	0.00
2025	0.00	0.00	0.00
2026	0.00	0.00	0.00
2027	0.00	0.00	0.00
2028	734.06	14.89	719.17
2029	2,459.28	49.86	2,409.42
2030	4,838.59	98.04	4,740.55
2031	6,915.70	140.05	6,775.64
2032	8,289.38	167.77	8,121.61
2033	8,668.64	175.37	8,493.27
2034	8,792.68	177.86	8,614.82
2035	8,857.63	179.17	8,678.45

(5) 시사점

후반기 발전형 시나리오는 MASS 개발이 초기나 중반보다 후반에 기술 개발 변화가 더 많이 상승하는 것을 가정하였고, 로지스틱 함수를 이용하였다. 동 시나리오에서는 선원의 일자리 수는 2035년까지 1,003개가 감소된 것으로 나타나 4개의 시나리오 중 가장 작은 감소를 보였다. 또한 MASS 연관 산업 총 고용 인력은 49,555명의 고용효과가 발생하였으나 이는 가장 고용효과가 큰 것으로 나타난 초기발전형 시나리오에 비해 무려 68,807개의 일자리 차이가 발생하였다.

후반기 발전 시나리오에서 가장 많은 일자리 감소와 가장 큰 신규 일자리의

창출 시기는 2029년에서 2032년 사이이다. 동 기간 동안 감소되는 선원 인력은 1,003명 중 456명(45%)를 차지하였고, 신규 창출되는 일자리의 규모는 전체 기간 동안의 누적 신규 일자리 49,555명 중 22,626명의 고용 효과가 발생하였다. 이는 누적된 신규 일자리 중 45%에 해당하는 것으로 전체 기간 중 가장 많은 일자리의 규모 변화 기간으로 분석되었다.

결과적으로 후반기 발전형 시나리오는 후반의 MASS 기술발전이 이루어지고, MASS 선박의 도입이 된다는 가정으로 가장 낮은 선원의 일자리 감소가 발생하였고, 더불어 가장 낮은 수의 새로운 일자리의 고용효과가 발생하였다.



4.2 시나리오 분석 결과

결과적으로 4개의 시나리오별로 감소된 선원 인력과 신규 일자리에서 가장 큰 고용 효과를 볼 수 있었던 모델은 초기 발전형이다. 아래 표와 같이 초기 발전형에서는 2035년까지 누적 선복량은 118척, 누적된 선원의 감소 고용 인력은 2,378명인 반면에 누적된 총 신규 고용은 117,988으로 그 감소와 신규창출의 차이가 115,601으로 나타나 가장 큰 순수 고용유발 효과가 있는 것으로 나타났다.

Table 33 시나리오별 해양산업 고용 인력 규모 변화

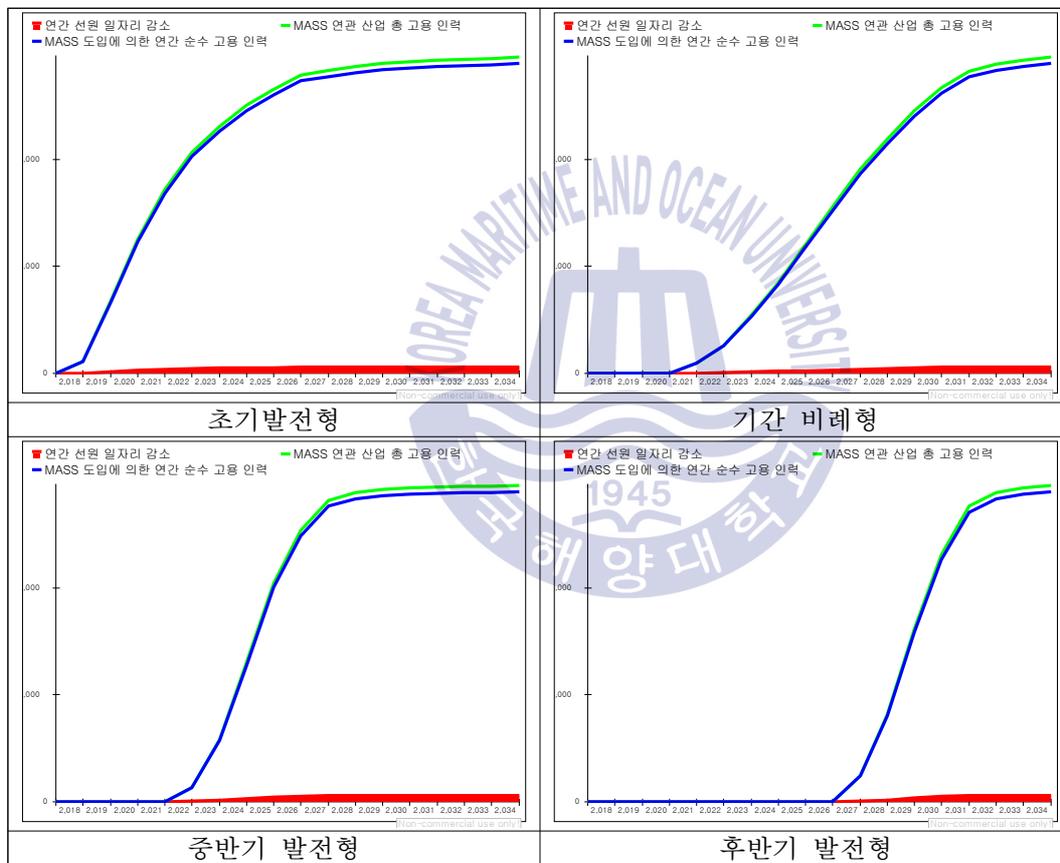


Table 34 시나리오별 해운인력 규모 변화 결과

구분	2018년 ~ 2035년			
	초기발전형	균일 발전형	중반기 발전형	후반기 발전형
총 누적 선원 고용감소 (A)	2,387	1,536	1,818	1,003
총 누적 신규 일자리 (B)	117,988	75,920	89,847	49,556
순수 고용 유발 효과 (B) - (A)	115,601	74,384	88,029	48,553
피크 시기	2020-2025년	2024년-2031	2024-2027	2029-2032
피크시기 선원 고용감소 (A)	636	811	392	455
피크시기 누적 신규 일자리 (B)	31,752	40,301	19,498	22,626
(B) - (A)	31,113	39,489	19,105	22,170

순수 고용효과가 가장 크게 나타난 초기 발전형 시나리오와 같은 형태로 MASS 기술과 선박의 도입이 이루어져서 해양산업 인력 시장에 영향을 미친다면 새로운 산업을 이끌어야 될 인적 자원에 대한 시급한 준비가 필요할 것으로 보인다. 자율운항선박의 기술의 발전은 실제 산업계로의 확산과는 시간적 차이 두고 발생(전영우, 2018)할 수 있기 때문에 초기 발전형이 아닌 후반기 시나리오의 적용을 고려할 수도 있다. 후반기 발전형은 초기 발전형에 비해 누적된 순수 고용 효과가 작지만 2023년에 총 누적 고용 효과는 48,553명으로 적지 않은 영향을 고려할 필요가 있다.

유럽연합을 비롯한 유럽의 주요 MASS 기술 보유 국가의 산업 정책을 보면 당장 내년부터 상용화 시험을 염두하고 있다. 일본의 경우 2025년까지 100여척의 벌크선을 위주로 하는 화물선의 수주를 계획한다는 발표는 초기발전형으로

자율운항선박의 기술이 충분히 발전하고 해운 산업으로 도입될 가능성이 없지는 않다.

우리나라도 정부와 민간 산업체에서 미래 해운 성장 사업으로 선정하고 매진하는 만큼 자율운항선박의 실용화는 멀지 않은 실현가능한 계획이다. 그렇다면 본 연구에서 가정한 초기발전형으로 자율운항선박의 발전은 새로운 해운 산업의 일자리를 창출한다는 매력적인 신규 산업이고 더불어 고급 해운인력의 양성은 시급히 검토되어야 할 과제일 것이다.

4.3 모델 검증

4.3.1 최적화와 리스크 관리

2035년까지 자율운항선박의 도입에 따라 선원의 일자리가 감소된 반면 새로운 일자리의 수는 어느 수준이어야만 고용 안전 측면에서 긍정적인 고용 창출 효과가 만들어 주는지를 검증하기 위해 시스템 다이내믹스에 있는 최적화(Optimization)를 시행하였다. 최적화란 주어진 범위 안에서 최대값 또는 최소값을 찾아 자원 또는 비용의 효율성을 추구하는 것을 말한다. 본 연구에서 선원의 일자리가 감소한 만큼의 새로운 일자리가 발생되어 결과적으로 감소와 증가는 없는 것으로 MASS 척 당 고용유발 인력이 어느 수준인지를 확인하기 위해 최적화를 활용하였다.

최적화 결과, 초기 발전형의 경우 2035년에 선원의 일자리 감소만큼을 상회할 수 있는 MASS 관련 신규 일자리 창출은 MASS 척 당 고용유발이 14.7명이면 동일한 것으로 분석되었다. 나머지 시나리오 기간 비례형, 중반기 발전형 및 후반기 발전형²⁾ 최적화 가동 시 MASS 척당 고용유발효과는 14.7명에서 15명 이내일 경우 선원의 고용감소의 규모와 차이가 없는 것으로 분석되었다.

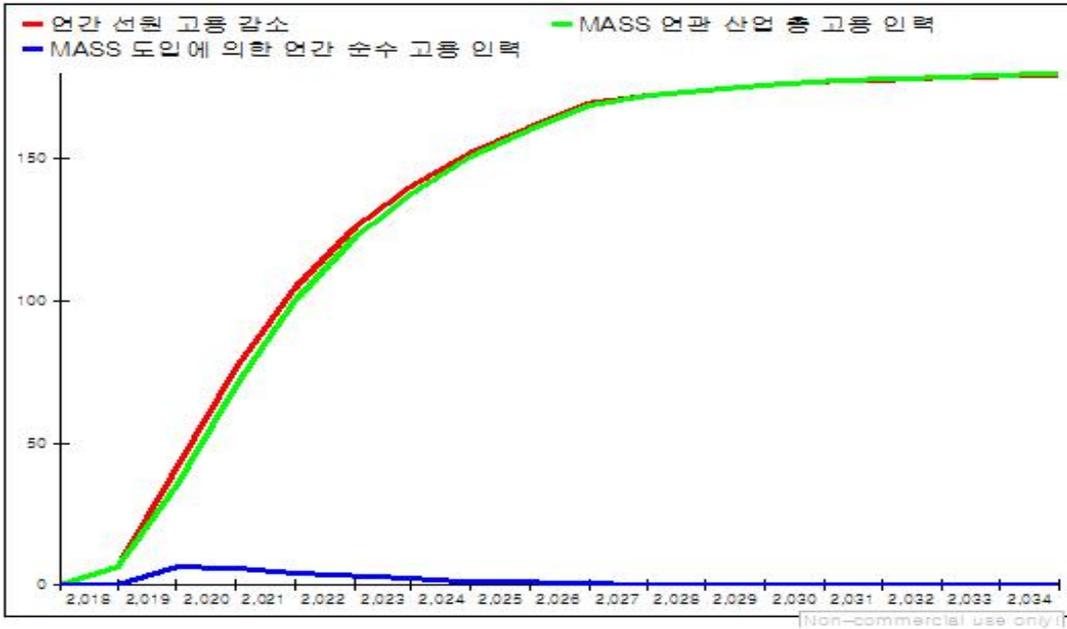


Fig. 31 최적화 결과

그러나 선행연구(윤익로 외, 2018)에서 MASS 선박 척 당 고용유발 효과는 191 명으로 연구되었고, 그 내용을 기초로 하여 시뮬레이션 결과 선원 일자리 수 감소 대비 신규 일자리 창출의 효과는 초기 발전형의 경우 약 50배가 되었다. 또한 그러한 취업유발효과가 극대화 되는 시점은 4개의 발전 시나리오별로 다소 차이는 있으나 2025년에서 2035년 사이에서 발생하였다. 결과적으로 완전자율운항선박의 기술발전 및 도입은 기존의 유인화 선박에 해당하는 선원 일자리의 규모는 감소를 유발하고, 신규 일자리의 창출에는 보다 큰 영향력을 미치는 것으로 나타났다.

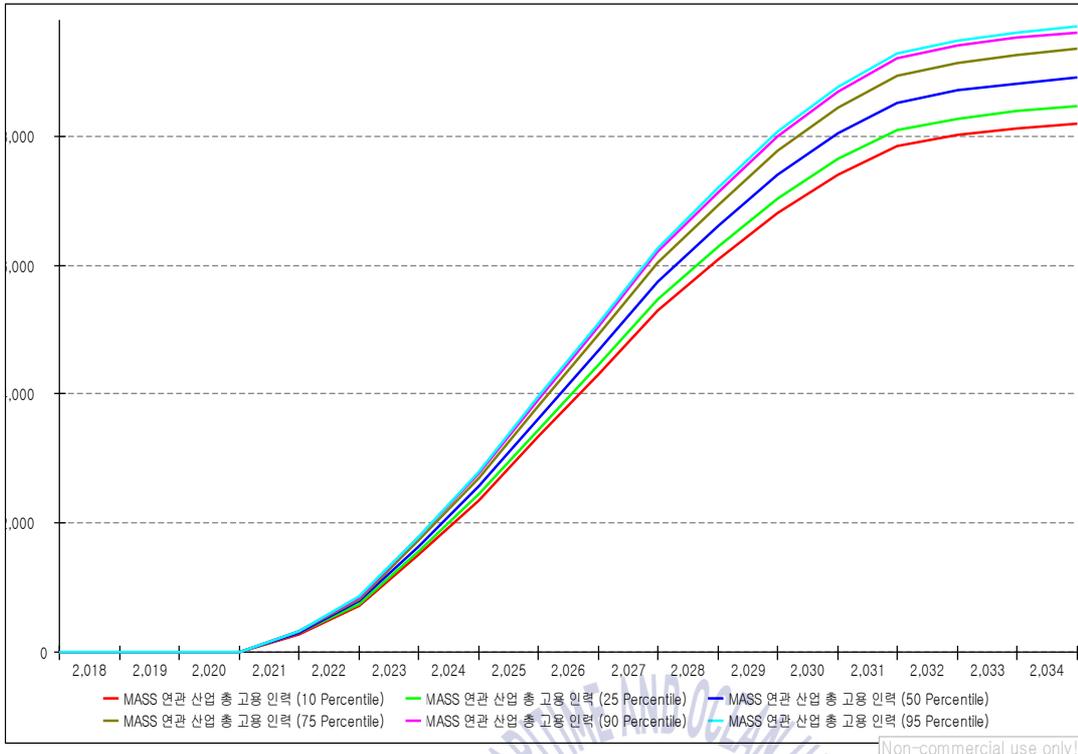


Fig. 32 MASS 연관 산업 총 고용 인력의 리스크 관리

예측 모델의 타당성을 향상시키기 위해 신규 일자리 창출에 영향을 주는 요인들에 대한 민감도 분석으로 파워십의 리스크 관리(Risk management)를 적용하였다. 상기 그림 32는 여러 요인들의 평균 증가율에 (+), (-) 15내지 25%의 범위를 주었을 때 변동하는 MASS 연간산업 총 고용인력(신규 일자리 창출)을 나타내고 있다. 분석결과, 여러 변수들의 리스크 관리 결과, 적당 조선업의 고용효과가 가장 큰 요인으로 분석되었다.

제 5 장 결론

5.1 연구의 요약 및 시사점

자율운항선박이 정부의 관심 부문으로 지정되어 지원이 이루어질 예정이다. 예를 들어 2017년 11월 대통령 직속 4차 산업혁명위원회에서는 ‘혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획’에 자율운항선박을 포함시키고, 자율운항선박 운항 시 승무정원에 구애 받지 않도록 선박직원법 등을 개선하여 2022년 자율선박 최초운항을 실현한다는 방침이다(장경석, 2018). 또한 산자부와 해양수산부는 5,800억대 자율운항선박 개발 프로젝트(2019-2024)를 내년부터 착수할 예정이다(강미주, 2018). 이처럼 자율운항선박의 기술발전은 정부 지원 하에 가속화로 이어지고 있으며, 먼 미래의 산업이 아닌 완전 무인화 선박의 실현은 좀 더 가깝게 다가오고 있다.

자율운항선박이 보편화 될 경우 선원 고용은 감소될 것이라 예상하고 있다. 실제 KIMST(2018) 및 Tester(2017)의 설문조사에 따르면 80%의 응답자가 많은 선원들의 일자리가 없어질 것이라고 전망하였고, 선원의 일자리를 분명 위협할 것으로 예측하였다. 이로 인해 국제운수노조연맹(International Transport Workers' Federation, ITF)에서는 자율운항선박의 도입 시기를 늦추어야 한다는 우려를 표명하기도 하였다(D'agostini et al., 2017). 동 연구의 한국 선원들의 자율운항선박의 도입에 의한 일자리 영향과 도입 시기에 대한 인식조사에서는 고용 불안정에 영향을 미칠 것으로 예상하였지만 그 도입 시기는 10년 내지 20년 정도의 미래로 전망하였다.

이에 따라 본 연구에서는 자율운항선박의 기술 발전이 가속화됨에 따라 선원의 일자리 수의 감소와 관련 산업 내 신규 창출되는 일자리의 규모 변화를 비교하는 시뮬레이션을 하였다. 결과적으로 선원 일자리의 규모는 축소되었으나 관련 산업의 새로운 일자리는 더 큰 규모의 크기로 다양하게 창출될 것으로 기대된다. 실제 시뮬레이션 결과 선원 일자리의 감소보다도 관련 해양 산업의 신규 일자리 창출은 약 50배 규모의 고용유발 효과가 나타났다.

4가지 유형의 MASS 발전 시나리오 중 초기 발전형인 시나리오 1이 가장 큰 순수 고용유발 효과가 있었고 이때 누적된 순수 고용유발 효과는 116,246명이다. 동 시나리오에 따르면 2020년에서 2025년이 극대화 되는 시점이고, 이 시기에 31,113(전체 27%)명의 가장 많은 일자리 창출효과가 발생하였다.

해양산업의 인력의 큰 변화는 새로운 기술 산업으로 시작되고 있으며 이러한 신 기술의 도입은 새로운 해양산업의 비즈니스 모델을 요구한다. 기술 패러다임의 전환에 따른 새로운 시장에서의 생존, 기술 경쟁 시장에서의 주도권 선점, 국제적인 기술 변화에 대한 대응력 등은 미래 해양산업의 비즈니스 모델을 어떻게 구축·개발 하느냐의 달라질 수 있는 중요성을 포함한다. 새로운 비즈니스 생태계에서 해양산업의 지속가능성을 확보하기 위해서는 ICT 기술을 융합한 새로운 비즈니스 기회 창출을 위한 선제적 노력이 필요하다. 자율운항선박 시장의 서점 활용의 대응을 위해서는 기술개발이 필수적이며 더불어 국제적 경쟁력을 갖춘 인력의 양성 문제는 적시에 이루어져야 할 것이다.

첫째, 고용일자리의 양적 관점에서 자율운항선박으로 인한 영향이 보다 클 것으로 예상하였지만 조선과 조선기자재의 일자리 창출이 가장 크게 나타났으며 이는 기술과 노동 집약적 산업인 전후방 파급효과가 큰 산업이기 때문이다. 동 연구에서는 10대 해양산업에서 가장 큰 일자리 창출효과는 조선업으로 분석되었다. 무인화라는 산업의 특성 상 일자리의 축소를 전망할 수도 있으나 결과적으로 축소되는 인력보다도 증가가 되는 신규 일자리의 규모의 크기를 시뮬레이션으로 살펴보았다. 또한 극대화 되는 증폭 시점은 2022-2025년 사이로 분석되었다.

둘째, 일자리의 질적 측면에서는 선원들의 일자리가 자율운항선박으로 인해 보다 개선될 측면이 있을 것으로 예상된다. 육상에서 선박을 조종하게 되면 오랜 시간 바다를 항해해야 하는 어려움과 애로사항이 있고, 해상에서의 위험부담이 완화될 것이다. 일부 우수인력에 대해서는 임금 및 복지 등에 있어서 현재의 선원보다 상대적으로 매력적인 일자리가 제공될 가능성도 매우 크다. 해양산업의 매력화로 이직한 선원이 해양산업으로 재진입할 가능성도 있다.

기존의 기술과 노동 집약적인 산업의 중심에서 인공지능, 정보화, 지능정보통신 등이 새로운 산업의 방법으로 활용되면서 새로운 고급형 일자리가 창출될 것으로 예상된다. 무인환경에서 자동 기기 제조나 관리 보수 유지, 무인 환경에서의 화물 보안 장비, 솔루션 제공, 선박과 선박 간 환적 자동 처리, 사이버 보안 서비스, 항만하역 등의 자동화 장비의 원격 조작 등 고도의 과학기술형의 일자리가 만들어질 것으로 예상된다. 새로운 산업의 일자리 특성상 이에 따른 직무의 역량 요건도 달라질 것이다.

셋째, 일자리를 위한 교육 및 인력양성 문제와 관련하여 미래의 전통적인 선박운영의 일자리 규모는 축소될 것이며 새롭고 가치 있는 일자리가 창출될 것으로 전망된다. 해운분야는 조선업에 비해 고용유발 효과가 적고, 실제 시뮬레이션에도 그 효과는 크지 않았다. 조선이나 기자재 분야보다 일자리 규모에 직접적 위협을 받을 수 있기에 미래에 적용할 수 있는 가치 있는 일자리 창출과 기존의 선원을 비롯한 해운인력의 직업 재배치 문제를 검토해 나가야 한다.

우리나라는 선박 조선 역량은 세계적으로 뛰어나지만 지능정보기술(ICT) 기반의 운항·제어, 미래 통합 스마트 플랫폼 기반기술 및 해운항만 운용서비스 기반기술은 부족한 실정이다. 그러나 이러한 기술의 가속화는 선원국으로서의 입장에서선원 고용 시장의 변화가 예상되므로 자율운항선박의 인력 규모 예측과 기존 유인선박의 선원의 규모의 변화 예측을 통한 선제적 대응이 필요하다.

장기적으로 보았을 때 자율운항선박의 도입은 단순한 과학기술진보가 아니라 해상교통체계와 항만과의 연계시스템을 모두 아우르는 시스템적 변화를 일으킬 것이다. 유럽의 선진국과 중국, 일본 등은 각자 자국의 산업적, 지리적 환경을 고려해 그에 따른 전략을 갖고 자율운항선박을 개발하고 있다.

따라서 우리나라도 가까운 미래의 해운산업에서 선원 인력 시장에서의 규모 변화와 새로운 일자리의 규모를 예측해 보고 그에 대한 인력개발전략을 수립할 필요성이 있다. ICT 강국인 우리나라는 해양과학기술과 지능정보기술의 융합을 촉진하고, 산업 생태계와 협력체계를 조성해 미래를 만들어 나갈 준비가 필요한 시점이다.

또한 자율운항선박으로 인해 변화하는 환경에 적응할 수 있는 현재 및 미래의 선원을 대상으로 하는 교육도 필요하다. 더불어 선원 양성교육 기관에서는 새로운 일자리에 필요한 직무교육개발과 관련 IT 및 전산 관련 교육 개발 및 확대도 필요할 것이다. 우리나라는 해운조선선원을 모두 갖춘 국가로서 우수한 해양산업 인적 자원과 산업 인프라 및 통합적인 정책, 기술을 개발할 수 있는 충분한 가능성을 가지고 있다. 그러므로 IT 강국이자 초고속 인터넷 기술을 보유한 우리나라는 최첨단 정보 기술을 접목한 항해 통신 장비를 운영하고 관리할 수 있는 승무원의 자격에 관한 국제적 기준을 개발함과 동시에 SMART 선박 교육과정을 개발하고 제공하여야 한다(김찬란 외, 2017; 김경석, 2018; 박진수, 2018, 전영우, 2018).

5.2 연구의 한계 및 향후 연구 과제

본 연구는 자율운항선박의 기술적 발전과 그에 따른 상용화가 해양 인력 규모에 실질적으로 어떠한 영향을 미치는지 분석했다는 점에서 의의가 있지만, 정부 정책 지원 계획, 해운 경제 상황 등의 변수를 고려하지 못한 한계점이 있다. 또한 실제 데이터를 가져온 타당한 인과적인 선행연구가 부족함으로 향후 연구에서는 이를 보완할 필요가 있다.

연구 범위에 있어서 자율운항선박의 기술 개발과 도입에 따른 선원 일자리의 규모 변화를 분석하였지만 인과지도에 있는 선박관리업(Ship Management)에 대해서는 실제 시뮬레이션에 포함하여 분석하지는 못하였다. 이에 차기 연구에서는 선박관리업을 중심으로 한 새로운 해양산업의 비즈니스 모델 변화에 대해 연구하고자 한다. 또한 피드백 구조를 실현할 수 있도록 정부 지원, 정책, 일자리 창출에 대한 정책 반영, 기술의 발전 등의 좀 더 넓은 범위의 변수들을 시뮬레이션에 포함하여 동태적 변화를 분석하고자 한다.

새로운 기술의 도입으로 인한 해양산업의 고용 변화를 고려한 인과지도에서는 연구자의 관찰과 경험적 지식에 기초하여 인과관계를 고려하였다. 그러나

정략적 수치와 데이터를 추출하지 못하는 추상적인 변수들의 선택 및 수식으로 정의하는 과정에서 연구자의 임의적 정의가 포함되었다.

연구 데이터에 있어서는 한국선원통계연보, 선원 취업 현황, 우리나라 해기사 수급 전망, 외국인 선원의 취업 현황, 조선 건조현황, 신규 국제협약 발효 및 적용 등의 정보를 바탕으로 각 변수 데이터를 입력하였으나 시뮬레이션 과정에서 시간 흐름에 따른 MASS 기술 수준 적용은 미래의 불확실성을 포함하고 있기 때문에 정확히 예측하는 것은 불가능하다. 다만 시스템 다이내믹스에서 기본적으로 사용되는 불확실성 감소를 위해 4가지 기술발달 유형의 시나리오를 구현함으로써 최대한 실현가능한 미래의 고용시장에 대해 분석하였다.

그럼에도 불구하고, 앞서 서술하였듯이 기존의 선행연구와 현재 해양산업에서 논의되고 있는 자율운항선박의 파급효과를 인력 측면에서 정성적 분석이 아닌 정량적 분석과 그 인과관계를 분석한 것으로 이는 향후 해양산업인력 양성시 참고가 될 수 있다. 또한 동 연구에서 수립한 시뮬레이션은 좀 더 넓은 범위의 선원과 해운시장인력 예측에 활용할 수 있다는 측면에서 학문적 효용성이 있다고 본다.

본 연구는 새로운 기술의 도입에 의한 일자리의 변화를 중심으로 각 관련 산업과 인력시장의 인과 관계를 분석하고 그를 통해 정량적인 일자리 규모 변화를 도출하였다. 후속 연구에서는 보다 미시적인 관점에서 4차 산업혁명 도입과 기술 발전에 따른 해양산업에서 경쟁력을 갖출 수 있도록 주요 필요 역량과 교육 개선방안 마련이 필요하다.

참고 문헌

- 강미주, 2018. 5800억원대 자율운항선박 개발 프로젝트 내년부터 착수. *해양한국*, pp.81-84.
- 곽상만, 2005. 제3장 시스템 다이내믹스 이론의 군사적 적용방안 연구. *한국전략문제연구소*, pp.2-368.
- 곽상만, 유재국, 2016. *시스템 다이내믹스 모델링과 시뮬레이션: Vensim의 활용*. 성남:북코리아.
- 금중수, 장운재, 양원재, 2018. 시스템 다이내믹스에 의한 선박충돌사고의 인적요인 분석에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 27(6), pp.493-498.
- 김가혜, 2008. *시스템 다이내믹스 기법을 이용한 '지속·확장 가능한 Network Effect 구축'에 관한 연구: 싸이월드 사례를 중심으로*. 학위논문. 이화여자대학교.
- 김기찬, 2007. *Vensim을 활용한 System Dynamics*. 서울경제경영.
- 김경석, 2018. 자율운항선박 도입에 따른 선원 및 일자리 영향. *자율운항선박 도입을 위한 정책 세미나*.
- 김도훈, 문태훈, 김동환, 1999. *시스템 다이내믹스*. 서울: 대영문화사.
- 김도훈, 문태훈, 김동환, 2001. *시스템 다이내믹스*. 서울: 대영문화사.
- 김선영, 2017. *무인선 자율운항 기술*. 부산:해양수산과학기술진흥원.
- 김영국, 전준우, 여기태, 2014. 시스템 다이내믹스를 이용한 인천항 배후단지가 인천항 컨테이너 물동량에 미치는 영향 분석. *한국항해항만학회지*, 38(6), pp.701-708.
- 김종관, 안영중, 이창희, 2017. 4차 산업혁명에 적합한 선원재교육의 체계 개선에 대한 연구. *수산해양교육연구*, 29(4), pp.1072-1082.

김태균, 전영우, 2017. 우리나라 국제항해상선 해기사 수급 전망. 제1회 선원 수급과 고용문제 세미나.

김태균, 전영우 2018. 우리나라 국제항해상선 해기사 수급 전망. 제2회 선원연구센터 세미나.

김찬란, 장유락, 이윤철, 2017. 최신 IMO 전략계획 분석을 통한 대응 역량 강화 방안 연구. *해사법연구*, 29(3), pp189-228.

김희숙, 2007. 사회적자본 축척에 따른 중소기업의 역량진화모형개발과 비즈니스아키텍처의 진화경로 추적: 자동차 부품산업에 대한 OD 모델 적용을 중심으로. 학위논문. 가톨릭대학교.

박성일, 정현재, 전중우, 여기태, 2012. System Dynamics를 활용한 인천항 철재화물 물동량 예측에 관한 연구. *한국항만경제학회*, 28(2), pp.75-93.

박진수, 2018. MASS and MET; Maritime autonomous surface ship and maritime education and training(Focusing on Deck Officers). *The 3rd KMI-WMU Seminar*, pp.86-103.

박한선, 2018. 한국의 자율운항 선박(MASS) 대응정책 방향. *한국정보통신기술협회*, 178, pp.60-65.

박한선, 이호춘, 이혜진, 김보람, 2017. IMO 지속발전 전략계획(SP) 대응방안 연구. 부산:한국해양수산개발원.

박혜리, 박한선, 김보람, 2018. 자율운항선박 도입 관련 대응정책 방향 연구. 부산:한국해양수산개발원.

서혁, 2006. 시스템 사고 기법을 이용한 한국 방위산업의 레버리지 전략. *국방정책연구*, 73(73), pp.235-283.

손기영, 2007. 상업건축물 사업타당성분석 모형구축. 석사학위논문. 경희대학교 대학원.

손승현, 2018. 동적분석기법에 의한 아파트프로젝트의 사업성 분석 시뮬레이션

선 모델. 석사학위논문. 경희대학교 대학원.

경제정보센터(KDI), 2018. 제15차 산업경쟁력 강화 관계장관회의 개최 [Online] Available at: <http://eiec.kdi.re.kr/policy/material/view.jsp?num=175582> [Accessed 17 July 2018].

송상근, 2014. 시스템 다이내믹스를 이용한 부산항 환적물동량 예측에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

오영민, 정경호, 2009. 인과지도를 통한 고준위방사성폐기물처분장과 지역 주민의 수용성의 관계고찰. *한국시스템다이내믹스 연구*, 10(2), pp.29-52.

윤익로 외, 2018. 자율운항선박 기술영향 평가 결과. 해양수산과학기술진흥원.

이권희, 2018. 스마트선박 SM 플랫폼 개발을 통한 스마트 선박 글로벌 공급기 지 기반 구축. 자율운항선박 도입을 위한 정책 세미나.

이경성, 2018. 빅-스텝 로지스틱스 테크놀로지: 자율운항 무인화선. [Online] Available at: <http://www.klnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=117429> [Accessed 05 May 2018].

이윤석, 2018. 자율운항선박(MASS) 개발 동향 분석. *한국정보통신기술협회*, pp.20-26.

이호영, 전준우, 여기태, 2014. System Dynamics를 이용한 선원인력 수급 예측 및 활성화 방안에 대한 연구. *해운물류연구*, 30(3), pp.759-783.

임요준, 이윤철, 2018. 자율운항선박과 IMO 협약의 쟁점이 해사법제에 주는 시사점. *한국법학회*, 71, pp.155-181.

장경석, 2018. 자율운항선박의 현재와 미래. [Online] Available at : https://www.kbfg.com/kbresearch/index.do?alias=vitamin&viewFunc=default_details&categoryId=3&articleId=1003616 [Accedssed 15 May 2018].

전영우, 김영모, 김육성, 조소현, 이창희, 2014. 선원의 역할과 가치: 국적선원의 양성 필요성. 부산: 한국해양수산연수원.

전영우, 2017. 우리나라 선원실업과 고용제도 개선 연구. 제1회 선원고용문제 세미나.

전영우, 2018. 해운항만 4.0 추진과제와 미래의 해기사. 미래전략캠퍼스 프로그램북.

전준우, 이진규, 여기태, 2015. System Dynamics 방법을 이용한 국내선박사고 분석에 관한 연구. 한국물류해운학회, 31(1), pp.29-53.

전해동, 2018. 자율운항선박의 책임제도에 대한 법적 고찰. 한국해사법학회, 30(3), pp.329-352.

최우람, 2010. 시스템 다이내믹스를 활용한 친환경 건축물 인증평가항목의 동태모형개발. 학위논문. 전남대학교 대학원.

최중락, 2014. 군사용 무인선 개발동향. 대한조선학회지, 51(2), pp.3-8.

하준철, 2017. 정부, 4차산업혁명 대응 선도 범부처 성장동력 분야 확정. [Online] Available at: https://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=202&sub=001&idx=38613 [Accessed 01 May 2018].

한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2018. 2018년도 예비타당성 조사 보고서; 스마트 자율운항선박 및 해운항만 운용서비스 개발 사업.

한국선원고용복지센터, 2018. 2018년도 한국선원통계연보.

한국선주협회, 2013. Vision 2020.

한국정보화진흥원(NIA), 2016. 지능화 시대 스마트 선박 발전 방향.

D' agostini Enrico, 류동근, 조소현, 2017. 무인화 선박에 대한 한국 선원들의 인식에 관한 연구. 한국항해항만학회지, 41(6), pp.381-388.

한국해양수산개발원(KMD), 2018. 자율운항선박, 침체된 해운산업 및 조선산업의 새로운 성장 동력.

해양수산부, 2018. 해양수산과학기술 육성기본계획(2018-2022)

홍석희, 2016. *이젠 배도 인공지능, 조선3사 스마트ships을 잡아라*. [Online] Available at : <http://news.heraldcorp.com/view.php?ud=20160317000440> [Accessed 15 May 2018].

외국문헌

Alexopoulos, A., Fournarakis N. and Sambracos, E., 2002. *Using System Dynamics to improve the marine manpower of the passenger industry in management decisions*. Munich Personal RePEc Archive Paper No. 52339, [Online] (Updated 19 Decemebr 2013) Available at: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/52339/1/MPRA_paper_52339.pdf [Accessed 05 May 2018].

Baldauf, M., Kintada, M., Mehdi, R. and Dalaklis, D., 2018. E-Navigation, digitalization and unmanned ship: challenges for future maritime education and training. *12th Annual International Technology, Education and Development Conference(INTED), Barcelona*.

Bureau Veritas(BV), 2017. *Guidelines for Autonomous Shipping*. [Online] Available at: http://www.bureauveritas.jp/news/pdf/641-NI_2017-12.pdf [Accessed 05 May 2018].

Dwight C. Look, Jr Harry J. Sauer, Jr., 1982. *Thermodynamics, Brooks/Cole Engineering Division*, University of Missoruri, california.

Forrester, J. W., 1961, *Industrial Dynamics*, MIT Press. Cambridge, Massachusetts.

Forrester, J. W., 1969, *Urban Dynamics*, MIT Press. Cambridge, Massachusetts.

Jatau, 2002, *Solomon Usman, Ship Manning and Safety : Problems in the*

Recruitment, Selection and Retention of Seafarers-A Global View, Master of Science WMU, pp.33-35.

Henriette, Thygesen, 2017. Svitzer. *International Conference on Autonomous Ships, copenhagen*.

International Maritime Organization (IMO), 2017. *Maritime Autonomous Surface Ships Proposal for a Regulatory Scoping Exercise, MSC 98/20/2*. IMO.

International Maritime Organization (IMO), 2018a. *IMO takes first steps to address autonomous ships* [Online] Available at: <http://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/08-msc-99-mass-scoping.aspx> [Accessed 05 May 2018].

International Maritime Organization (IMO), 2018b. *Framework for the regulatory scoping exercise, MSC 99/WP.9*. IMO.

Daffey, Kevin, 2017. Project SISU and the future for Autonomous ships. Rolls-Royces. *International Conference on Autonomous Ships, copenhagen*.

Max, J., 2018. *Seafarers and digital disruption; The effect of autonomous ships on the work at sea, the role of seafarers and the shipping industry*. Hamburg/London: International Chamber of Shipping.

Kongsberg, 2018. *Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland*, [Online] Available at: <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument>, [Accessed 15 May 2018].

Lloyds Register, 2016. *Cyber-enabled ships; ShipRight procedure-autonomous ships* [Online] Available at: <https://http://info.lr.org/l/12702/2016-07-07/32rrbk> [Accessed 05 May 2018].

Lloyds Register, 2017a. *Global Marine Technology Trends 2030* [Online] Available at: <https://eprints.soton.ac.uk/388628/1/GMTT2030.pdf> [Accessed 05 May 2018].

2018].

Lloyds Register, 2017b. ShipRight; Design and construction [Online] Available at: <https://www.cdinfo.lr.org/information/documents%5CShipRight%5CDesign%20and%20Construction%5CFatigue%20Design%20Assessment%5CLevel%201%20-%20Structural%20Detail%20Design%20Guide%5CFDA%20Level%201Structural%20Detail%20Design%20Guide.pdf> [Accessed 05 May 2018].

Marex, 2018, *China to build autonomous ship test-bed*, *The Maritime Executive*. [Online] Available at: <https://www.maritime-executive.com/article/china-to-build-autonomous-ship-test-bed>, [Accessed 27 June 2018].

Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks(MUNIN), 2016. *MUNIN* [Online] Available at: <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomous-ship> [Accessed 28 Jan. 2018].

NYK Line, 2018, *NYK to participate in demonstration project to remotely operated a ship* [Online] Available at: https://www.nyk.com/english/news/2018/1191211_1687.html, [Accessed 27 June 2018].

Obando-Rojas, B., Gardner, B. and Naim, M., 1999, A system dynamic analysis of officer manpower in the merchant marine, *Maritime Policy and Management*. 26(1), pp. 39-60.

Rolls-Royce, 2016. *The Era of Ship Intelligence* [Online] Available at : http://www.fathomshippingevents.com/uploads/2/5/3/9/25399626/13_era_of_ship_intelligence_-_london_3rd_nov_2016.pdf [Accessed 10 July 2018].

Rodseth, O. J. and Burmeister H. C., 2012. Developments toward the Unmanned ship, *proceedings of International Symposium Information on Ship ISIS 2012*, Hamburg, Germany, 30-31, August, 2012.

Sterman, J.D., 2000, *Business Dynamics*, Boston: Irwin Mcgraw-Hill.

Technical University of Denmark(DTU), 2017. A pre-analysis on autonomous ships. *International Conference on Autonomous Ship*, Copenhagen. Denmark.

Tester, K., 2017. *Technology in shipping; The impact of technological change on the shipping industry*. London: clyde & Co.

Yang, F., 2009. Study on model of supply chain inventory management based on System Dynamics. *Information Technology and Computer Science*, pp. 209-21.



감사의 글

막연하게 학위 논문 과정이 쉽지 않을 것으로만 생각하다 늦게 서야 학문의 어려움과 명쾌한 답을 찾지 못했던 제 자신의 한계에 몇 번을 부딪히고 나서야 겨우 논문을 마무리할 수 있었습니다. 이 과정 속에 부족한 제자를 지금까지 열과 성의로 이끌어 주시고 때때로 어려워할 때마다 동기부여를 해주시어 지금의 결실을 가질 수 있도록 학문의 길을 인도해 주신 류 동근 지도 교수님께 깊은 감사와 존경의 마음을 전합니다.

바쁘신 중에도 심사를 맡으시면서 연구자의 자세를 몸소 보여주시고, 학문적 가르침과 조언을 아끼지 않으신 전영우 교수님께 깊은 존경을 전합니다. 연구 방법에 대한 부족한 지식으로 어려워할 때 격려해 주신 이기환 교수님, 학위 논문으로 부족한 부분에 대해 세심한 지도를 해 주신 장명희 교수님과 김태균 교수님께 깊은 감사 인사드립니다.

논문의 결실을 맺기까지 먼 고향에서 둘째 딸을 항상 자랑스러워 하시고, 격려를 보내주신 아버지, 어머니, 세상에서 제일 멋진 며느리라고 사랑해 주시는 시아버지와 시어머니, 사랑하는 형제들에게 머리 숙여 감사드립니다. 논문 준비 기간 동안 물리적인 시간 제약으로 어려웠던 제에게 학업 동기로, 동일 전공 학자로, 든든한 배우자로 옆에서 힘을 실어 준 D' agostini Enrico와 사랑스러운 장난꾸러기 D' agostini Sofia, 제 딸에게 바칩니다.

그리고 오늘도 오대양 육대주 어느 푸른 바다 위에서 가족과 떨어져 헌신하고 있는 전 세계 모든 선원들의 노고에 감사드리며 안전항해 기원합니다.