

# 부산신항 진출입 항로 내 선박 통행 안전성 향상에 관한 연구

최봉권\* · † 박영수 · 김니은\*\* · 김소라\*\*\* · 박현구\*\*\*\* · 신동수\*\*\*\*\*

\*부산항 도선사, † 한국해양대학교 항해융합학부 교수, \*\*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 박사과정생,

\*\*\*한국해양대학교 일반대학원 석사과정생, \*\*\*\*한국해사컨설팅(주) 연구원, \*\*\*\*\*한국해양수산연수원 교수

## A Study on the Safety Improvement of Vessel Traffic in the Busan New Port Entrance

Bong-kwon Choi\* · † Young-soo Park · Nieun Kim\*\* · Sora Kim\*\*\* · Hyungoo Park\*\*\*\* · Dongsu Shin\*\*\*\*\*

\*Busan Harbour Pilot's Association, Busan 48940, Korea

† Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

\*\*PhD. Candidate, Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

\*\*\*Master Candidate, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

\*\*\*\*Researcher, Korea Maritime Consulting Co., Ltd. Busan 48732, Korea

\*\*\*\*\*Professor, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

**요 약** : 부산항은 우리나라 항만 중 가장 많은 물동량을 처리하고 있으며, 부산신항은 부산항 전체의 물동량 중 68.5%를 차지하고 있다. 이러한 물동량 증가로 인하여 부산신항에는 극초대형 컨테이너 선박이 입항하고, 최근에는 남컨테이너 부두 선석 추가 개장 및 현재 진행중인 서컨테이너 부두 건설 사업이 완료되면 부산신항 진출입 항로 내 다양한 조우 상황이 발생하게 되어 충돌 위험 상황을 초래할 수 있다. 이에 본 연구는 부산신항 진출입 항로 내 선박 통행 안전성을 향상하는 방안을 마련하고자 하였다. 이를 위하여 부산신항 내 항만 입출항 현황, 해상교통흐름을 살펴보고, AHP 기법을 활용하여 연구 구역 이용자들로부터 위험요소 및 안전대책을 식별하였다. 또한, 도출된 안전대책을 기반으로 환경 스트레스 모델(Environmental Stress model, ES model)을 활용하여 시나리오를 설정하고, 해상교통류 시뮬레이션 실시하여 각 안전대책의 교통 위험도를 파악하였다. 설문조사 및 시나리오 평가 결과, 선박운항자는 일방통행을 위한 진입금지 해역 설정을 가장 중요하게 생각하였으며, 이는 위험도 경감에 큰 효과가 있을 것으로 예상되었다. 본 연구는 부산신항을 입출항 하는 선박들의 통행 안전성 제고를 위한 안전대책 마련의 기반이 될 수 있으며, 추후 안전대책이 마련되면 부두 신설에 따라 변화된 교통량과 교통흐름을 활용하여 안전성에 대한 검증이 실시될 필요가 있다.

**핵심용어** : 부산신항, 극초대형 컨테이너 선박, 해상교통 흐름, AHP 기법, 환경 스트레스 모델, 안전대책

**Abstract** : Busan New Port manages the largest volume of traffic among Korean ports, and accounts for 68.5% of the total volume of the Busan port. Due to this increase in volume, ultra large container ships call at Busan New Port. When the additional south container terminal as well as ongoing construction project of the west container terminal are completed, various encounters may occur at the Busan New Port entrance, which may cause collision risks. Thus, the purpose of this study was to provide a plan to improve the safety of vessel traffic, in the in/out bound fairway of Busan New Port. For this purpose, the status of arrivals and departures of vessels in Busan New Port, was examined through maritime traffic flow analysis. Additionally, risk factors and safety measures were identified, by AHP analysis with ship operators of the study area. Also, based on the derived safety measures, scenarios were set using the Environmental Stress model (ES model), and the traffic risk level of each safety measure was identified through simulation. As a result, it is expected that setting the no entry area for one-way traffic would have a significant effect on mitigating risks at the Busan New Port entrance. This study can serve as a basis for preparing safety measures, to improve the navigation of vessels using Busan New Port. If safety measures are prepared in the future, it is necessary to verify the safety by using the traffic volume and flow changes according to the newly-opened berths.

**Key words** : Busan New Port, ultra large container ships, maritime traffic flow, AHP analysis, ES model, safety measures

### 1. 서 론

우리나라 항만의 물동량은 지속적으로 증가하고 있으며, 그 중 부산항의 물동량은 전국 수출입 화물의 60%인 44,228만톤으로(MOF, 2022), 우리나라 항만 중 가장 많은 물동량을 처리하고 있다. 특히, 부산신항에서 처리하는 물동량은 부산항 전

† Corresponding author : 종신회원, youngsoo@kmou.ac.kr 051)410-5085

\* 정회원, captbkc@naver.com

\*\* 정회원, nieun1003@g.kmou.ac.kr

\*\*\* 정회원, kimsoraa\_@naver.com

\*\*\*\* 정회원, kmcpghg@naver.com

\*\*\*\*\* 정회원, sds0427@naver.com

체 물동량 중 68.5%를 차지하고 있으며(BPA, 2021), 이러한 물동량 증가로 인하여 2020년부터 세계 최대 크기인 24,000TEU급의 컨테이너 선박이 부산신항에 입항하는 등 입출항 선박의 대형화도 이루어지고 있다(Kim et al., 2020). Hwang et al.(2021)은 대형 컨테이너 선박의 크기와 관련하여 10,000TEU ~ 20,000TEU의 선박은 VLCS(Very Large Container Ship, 이하 초대형 컨테이너 선박), 20,000TEU 이상의 선박은 ULCS(Ultra Large Container Ship, 이하 극초대형 컨테이너 선박)이라고 정의하였다. 따라서 현존하는 가장 큰 선박 역시 24,000TEU로 극초대형 컨테이너 선박에 해당한다.

Shin et al.(2018)은 부산신항의 입출항 척수는 전국 항만 중 가장 높으며 2011년 이후 부산 북항의 물동량을 추월하여 부산신항의 교통량이 부산항 5개 항로중 가장 많은 것으로 조사되었다. 이처럼 부산신항은 물동량이 많고 대형 컨테이너 선박의 입출항이 잦기 때문에 대형 해양사고 발생 위험성이 높은 것으로 보이며, 실제로 2016년부터 2019년까지 부산신항에서는 도선 중 충돌사고 3건 및 부두접촉사고 2건이 발생하였다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2021).

한편, 부산신항 관련 통행 안전성 향상을 위하여 많은 선행 연구가 진행되었는데 Won et al.(2015)는 컨테이너선이 대형화되면 수심 확보를 통한 접안 조건의 개선, 선박 길이 증가에 따른 선석 재배치, 선폭 증가에 따라 하역장비 사양의 변화, 터미널 생산성의 혁신이 필요하다고 하였으며, Kim et al.(2020)은 도선사 관점에서 부산신항 내 초대형 컨테이너 선박의 최소 수심확보를 위한 추가 준설과 항로표지 추가 설치 등의 통행 안전 보완대책이 필요하다고 하였다. 또한, Kim et al.(2021)은 부산신항 내 교통흐름 변화에 따른 위험도를 정량적으로 평가하여 토도 제거 후의 위험도가 3.3% 감소하였다고 하였다. 이처럼 부산신항과 관련한 선행 연구들의 경우 부산신항 내 안전대책의 도입 필요성을 제기하였으나, 해당 도선구의 도선사를 포함한 선박운항자가 실제로 느끼는 위험도를 반영한 통행 안전대책에 대한 연구는 다소 부족한 것으로 보인다.

따라서 본 연구는 부산신항 진출입 항로 내 선박 통행 안전성을 향상을 목적으로 부산신항 내 현황을 분석하고, 선박운항자를 대상으로 한 AHP(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP) 기반 설문을 통해 위험 요소 및 안전대책의 우선순위를 식별하고자 하였다. AHP 기반 설문을 시행한 것은 다양한 의사결정 요소간 상대적 중요도 및 우선 순위를 도출할 수 있기 때문이다. 또한, 환경 스트레스 모델(Environmental Stress model, 이하 ES model)을 활용하여 도출된 안전대책의 적합성 여부를 검증하고자 하였으며, ES model을 활용한 것은 조선회경 및 교통환경이 선박운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가할 수 있고 실제 실험을 하지 않고도 여러 시나리오를 재현 또는 생성하여 위험도를 평가할 수 있기 때문이다.

## 2. 부산신항 해상교통 현황 분석

### 2.1 부산신항 항만 현황

부산신항은 2021년 현재 세계 최대 크기인 24,000TEU급의 극초대형선들이 상시 입출항하고 있으며, 최근 1년(2021)간 GT 20만톤급 이상의 극초대형선 130척이 부산신항에 입항하였다(Busan Harbour Pilot's Association, 2022).

Seong(2014)는 GT 55,000톤급의 대형선박이 교차 통행 시 교통용량에 따른 필요한 적정항로폭을 861.11m로 제시하였다.

현재 부산신항의 진출입로인 5항로 끝단의 폭은 960m, 서방과제 부근의 폭은 710m로 현존하는 최대 선박인 24,000TEU급 컨테이너 선박이 교행하기에 협소하다. 따라서 입출항하는 극초대형선이 부산신항 진출입로에서 타선을 조우하는 경우, 안전거리 확보가 어려운 실정이다.

Fig. 1은 부산신항 진출입로 구간의 폭을 나타낸 것이다.

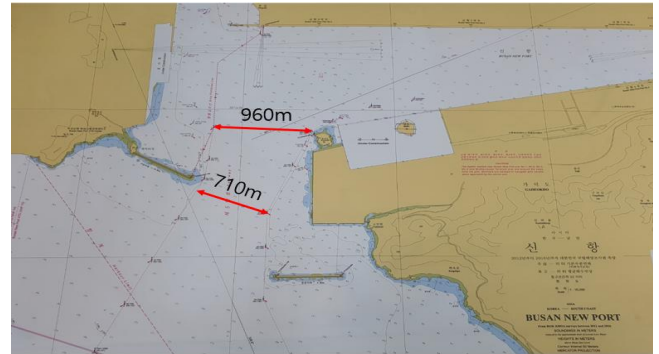


Fig. 1 Width of entrance in Busan New Port

또한, 부산신항은 1997년에 착공하여 2006년 3개의 선석개장을 시작으로 2022년 현재 22개 선석이 운영되고 있다(BPA, 2022). 2022년 6월 기준으로 부산신항에는 남컨테이너 터미널 ST 9, 10, 11번 선석이 추가 개장되었으며, 2023년 7월에는 서컨테이너 터미널 2개 선석이 추가 개장될 예정이므로, 부산신항 진출입로 내 선박의 조우 관계가 다양해지고 조우 빈도가 증가할 것으로 보인다.

이처럼 부산신항의 늘어나는 물동량을 원활하게 처리하기 위하여 컨테이너 터미널을 증설하고 있으며, 입출항선박이 대형화 되고 있는 추세이다. 이에 따라 최근 부산신항 내 토도를 제거하여 항만 내 통항로 폭을 일부 확보하였으나, 부산신항 진출입로 폭은 입출항 선박이 대형화되는 추세와 반하여 변함이 없다.

### 2.2 부산신항의 입출항 현황

Table 1은 부산신항의 10년간(2012~2021) 입출항 현황을 톤급별로 나타낸 것이다(Busan Harbour Pilot's Association, 2022).

Table 1 Arrival pilotage vessels for last 10 years in Busan New Port

(Unit: Number)

Gross Tonnage	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1,000 ≤ GT < 10,000	1,076	1,130	1,177	1,446	1,444	1,200	1,192	1,161	1,280	1,130
10,000 ≤ GT < 50,000	2,498	2,294	2,250	2,892	2,039	2,157	2,000	1,973	1,627	1,507
50,000 ≤ GT < 70,000	1,302	1,407	1,267	1,515	1,189	1,095	995	701	550	359
70,000 ≤ GT < 100,000	1,148	1,339	1,212	1,440	1,644	1,788	2,058	2,017	1,693	1,465
100,000 ≤ GT < 140,000	121	224	285	428	436	365	357	461	513	531
140,000 ≤ GT < 160,000	211	286	319	328	409	554	678	584	575	566
160,000 ≤ GT < 200,000	-	31	84	191	201	203	164	17	165	100
200,000 ≤ GT	-	-	-	-	-	11	36	70	113	130
Total	6,356	6,774	6,594	8,240	7,362	7,373	7,480	7,145	6,516	5,788

Table 1을 보면 대형 컨테이너 선박 및 극초대형 컨테이너 선박은 2021년 기준으로 2012년 대비 약 4.0배 증가함을 알 수 있다. 또한, GT 20만톤급 이상의 선박은 2017년 이후로 부산 신항에 기항하기 시작하였으며, 입출항 척수가 지속적으로 증가하고 있다.

Lee(2017)는 시뮬레이션을 통하여 선박 간의 간섭영향을 고려한 안전 통항 거리를 제시하였다. Panamax 급 컨테이너 선(길이 273m, 폭 32.2m)이 10 knots로, 125,700DWT급 LNG 선(길이 346m, 폭 55m)이 7 knots의 속력으로 마주치는 경우 안전 통항 거리는 컨테이너선 선폭의 4.9B 이상이 되어야 한다고 하였다. 따라서 선폭이 61.0m인 24,000TEU급 초대형 컨테이너 선박이 상호 조우하는 경우 최소한 양 선박 간 안전 통항거리는 298.9m로서 평온한 상태에서 약 300m 이상 필요하지만 현실적으로는 약 200m 내외로 통항하고 있다.

2.3 대상해역의 교통흐름 분석

Fig. 2는 부산신항의 7일간의 해상교통 항적과 입출항 선박의 주 교통흐름 및 병목구간을 나타낸 것이다. 부산신항은 토도가 제거되면서 교통흐름이 변화하였기 때문에(Kim et al., 2021), 토도가 제거된 이후 가장 입출항이 많은 월의 데이터인 2020년 7월 15일부터 07월 21일까지 7일간의 GICOMS 자료로 교통흐름을 분석하였다.

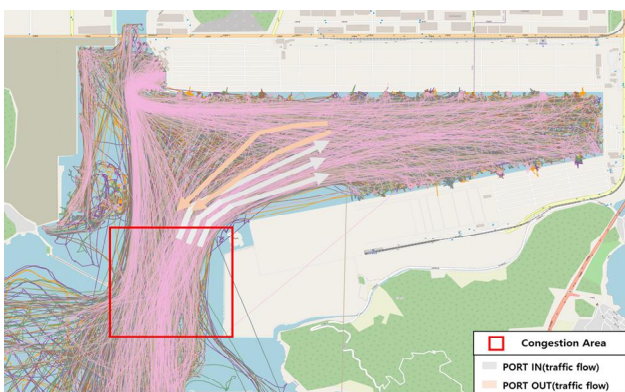


Fig. 2 Main traffic flow of passing vessels at Busan New port

부산신항 내 교통흐름을 분석한 결과, 토도 제거 후 항만 내 가항수역은 넓어졌으나 출항선박이 호란도 쪽으로 근접하여 항행하기 때문에 입항선박은 육지와 근접하게 항행하는 경향이 있음을 알 수 있었다.

부산신항의 현행 교통흐름에 선석 추가 개장으로 인한 교통흐름이 추가된다면 서방과제와 호란도 사이의 구간에서 병목현상이 발생할 우려가 매우 높은 것을 확인하였다. 따라서 본 논문은 Fig. 2의 혼잡 구역, 즉 서방과제와 호란도 사이의 구간을 부산신항 내 병목구간으로 정의하고, 이에 대한 안전 대책을 마련하고자 하였다.

3. AHP 분석을 통한 부산신항 통항로 위험요소 및 안전대책 우선순위 도출

3.1 AHP 기법 개요

계층화분석과정인 AHP 기법은 평가 기준이 여러 개인 문제 상황에서 다양한 대안들의 상대적인 중요도를 체계적으로 정량화하는 다기준의사결정이다. AHP 기법은 문제를 계층구조화하여 분해하고 계층구조의 계층별 의사요소들 간의 이원비교를 수행한다. 이후 이원비교행렬이 일관성을 갖추었는지 일관성 비율을 이용하여 측정하고 일관성 비율이 적합한 이원비교행렬에 아이겐벨류 방법을 적용하여 계층별 의사요소들의 상대적 중요도와 선호도를 도출한다. 아이겐벨류 방법은 다음 식(1)을 통해 적용되며, 이를 통해 산출된 상대적 중요도와 선호도를 결합하여 대안들의 종합적인 선호도 및 우선순위가 산출된다(Min, 2015).

$$A \times w = \lambda_{\max} \times w \tag{1}$$

여기서, A는 n × n 이원비교행렬이며, w는 평가 기준들의 상대적 중요도 또는 대안들의 상대적 선호도, λ<sub>max</sub>는 n개의 아이겐벨류 중 가장 큰 λ, n은 동일 계층의 대안 개수이다.

본 연구에서는 부산신항 내 선박 통항 시의 위험요소 및 안전대책을 식별하고자 선박 운항자를 대상으로 설문조사를 실시하고 이를 AHP 기법을 통해 분석하였다.

Table 2 Description of factors in survey

Subject	Level 1	Level 2	Description of factors
Risk factors	Traffic environment	Traffic volume	Increased traffic volume due to increase of extra-large vessels
		Traffic flow	Traffic flow is complicated by the opening of multiple terminals
		Traffic congestion	Increased traffic congestion as extra-large vessels are gathered
	Maneuvering environment	Maneuvering characteristics	Difficulty in maneuvering due to the extra-large vessels
		Route characteristics	Narrow route, lack of UKC, insufficient AtoN, etc
		Natural environment	Low visibility due to fog, effect of wind and current, etc
	Port support facility	Passive vessel traffic control	Passive intervention of VTS, untimely supply of information, etc
		Insufficient facility	Aged pier facilities, mooring facilities, marks on pier, etc
		Lack of port support	Lack of robust tugboat, worker and information on berthing, etc
Safety measures	Introduction of traffic system	Setting No entry area for one-way traffic	Set a no-entry area where vessel congestion is expected for one-way traffic
		Installation of signal post for one-way traffic	Installation of "IN/OUT/FREE" sign board (post) for one-way traffic
	Separation of traffic flow	Setting virtual AtoN	Set a virtual AtoN in the center of the route and in dense areas
		Setting traffic separation scheme	Set a traffic separation scheme in the center of the route
	Port support	Supplementing port support facilities	Reinforcement of tugboat power and the number of worker, installation of suitable fenders, etc
		Securing route safety	Route width expansion and dredging work
	Vessel traffic control	Spatial vessel traffic control	Active spatial control to prevent ships from encountering in one-way traffic zones and traffic separation scheme
		Temporal vessel traffic control	Active temporal control such as speed control instructions to prevent vessels encountering in congested sections
	Communication of ship operator	Revision of manual & guide	Stipulate the method of passing within the port as a rule of the Busan Harbour Pilot Association.
		Conducting own education	Conducting education on communication during vessel passage for pilots in Busan New Port

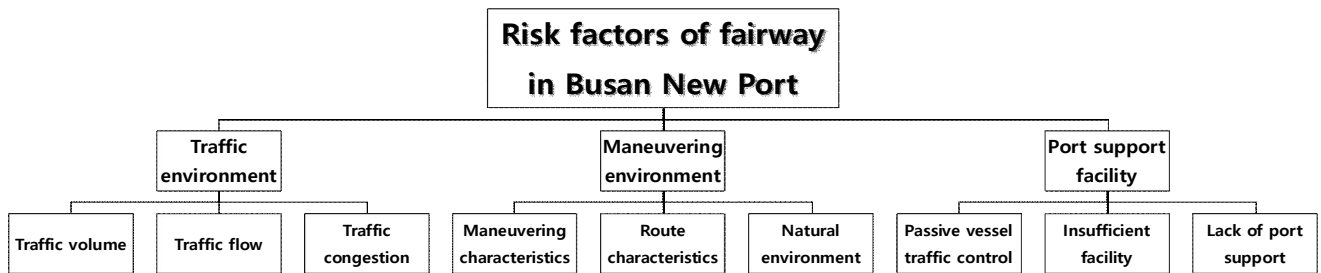


Fig. 3 Structure of AHP analysis for risk factors in Busan New port fairway

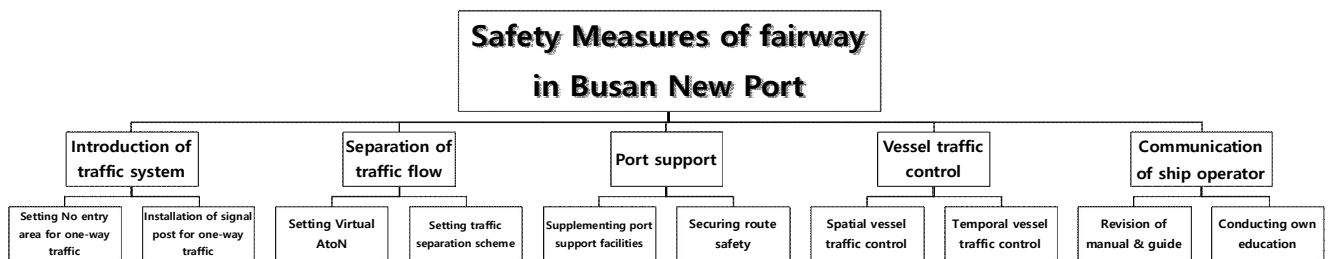


Fig. 4 Structure of AHP analysis for safety measures in Busan New port fairway

### 3.2 부산신항 통항로 내 위험요소 및 안전대책 요소 식별

본 연구에서는 부산신항을 이용하는 선박 운항자를 대상으로 전문가 회의를 개최하여 부산신항 통항로의 위험요소와 안전대책을 파악하였다. 전문가 회의를 통해 식별한 요소들은 선박 운항자 및 연구자로 구성된 전문가 집단의 브레인스토밍을 통해 계층구조화되어 이에 따른 AHP 모형이 구축되었다.

Table 2는 각 모형의 제2계층에 해당하는 세부 위험요소와 안전대책에 대해 설명한 것이다.

Fig. 3은 도출된 부산신항 통항로의 위험요소를 토대로 구축된 AHP 모형이며, Fig. 4는 도출된 부산신항 통항로의 안전대책을 토대로 구성된 AHP 모형이다.

### 3.3 분석 결과

#### 3.3.1 설문 응답자 세부사항

Fig. 5는 본 연구에서 실시한 AHP 기반 설문 응답자의 일반사항을 나타내고 있다. 응답자는 총 23명으로 부산신항 도선사와 선장이 포함된 선박 운항자로 구성되어 있다. 연령대로 보면 50대 응답자의 비율이 43.5%로 가장 높았으며, 응답자의 평균 승선 경력은 22.5년, 평균 도선 경력은 5.6년이였다.

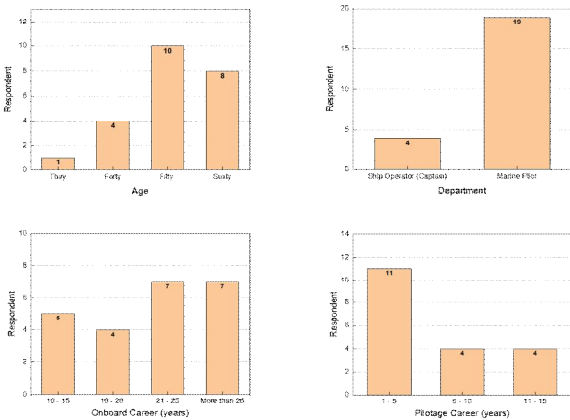


Fig. 5 Specification of respondent

AHP 기법은 설문조사에 참여한 응답자가 수행한 이원비교 결과가 일관성을 갖추었는지 측정하는 과정을 수행하도록 하고 있으며, 이는 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)로 파악할 수 있다. 식 (3)을 통해 일관성 비율을 계산하기 위해서는 우선 식 (2)를 통해 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 산출하여야 한다. 일반적으로 일관성 비율이 0.1 미만인 데이터가 일관성을 갖추었다고 볼 수 있다(Min, 2015).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda_{max}$ 는 이원비교행렬의 가장 큰  $\lambda$ ,  $n$ 은 동일 계층의 대안 개수이다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

여기서,  $RI$ 는 무작위 지수(Random Index)로 정수를 무작위로 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 구한 지수이다.

따라서 설문에 참여한 23명의 응답자를 대상으로 일관성 비율을 측정하였으며, 최종적으로 부산신항 통항로 위험요소의 우선순위를 선정하는 설문에서는 13부, 안전대책의 우선순위를 선정하는 설문에서는 12부의 일관성 비율이 0.1 미만인 것을 확인하였다. AHP 분석에 사용될 유효 설문지의 응답자는 모두 실제 부산신항의 도선 업무에 종사 중인 전문가이므로 부산신항 선박 통항의 안전성 향상을 위한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단하여 해당 설문지를 분석에 사용하였다.

Table 3은 각 설문의 유효 응답자 비율을 나타낸 것이다.

Table 3 Valid respondent status of per subject

Subject	Distributed questionnaire	Valid questionnaire	Valid ratio
Risk Factors	23	13	56.52%
Safety Measures	23	12	52.17%

Table 4는 유효 응답자의 일반사항을 나타낸 것이다. 설문 응답자는 모두 남성의 도선 업무 종사자였으며, 50대의 연령대가 가장 많았다. 부산신항 통항로의 위험요소를 선정하는 설문 응답자의 평균 승선 경력은 23.9년이었으며, 평균 도선 경력은 5.1년이였다. 부산신항 통항로의 안전대책을 도출하는 설문의 유효 응답자의 평균 승선 경력은 24.3년이었으며, 평균 도선 경력은 5.4년인 것으로 나타났다.

Table 4 Characteristics of valid respondent

Characteristics		Number of respondents	
		Risk factors	Safety measures
Age	Forty	2 (15.4%)	2 (16.7%)
	Fifty	7 (53.9%)	7 (58.3%)
	Sixty	4 (30.8%)	3 (25.0%)
Onboard Career (years)	10~15	2 (15.4%)	2 (16.7%)
	16~20	3 (23.1%)	2 (16.7%)
	21~25	4 (30.8%)	4 (33.3%)
	More than 26	4 (30.8%)	4 (33.3%)
Pilotage Career (years)	1~5	8 (61.5%)	7 (58.3%)
	6~10	3 (23.1%)	3 (25.0%)
	11~15	2 (16.7%)	2 (16.7%)



3.3.2 부산신항 통항로 위험요소 중요도 산출

Fig. 6은 부산신항 통항로의 위험요소 간 중요도를 산출하는 설문지의 제1계층에 대한 중요도를 산출한 결과이다. 제1계층에서는 교통환경(0.634), 조선환경(0.251), 항만지원시설(0.115) 순으로 상대적 중요도가 높았으며, 교통환경과 항만지원시설의 중요도 차이는 5배가 넘는 것으로 분석되었다. 따라서 선박 운항자 관점에서 교통환경이 부산신항 통항로의 가장 큰 위험요소임을 확인하였다.

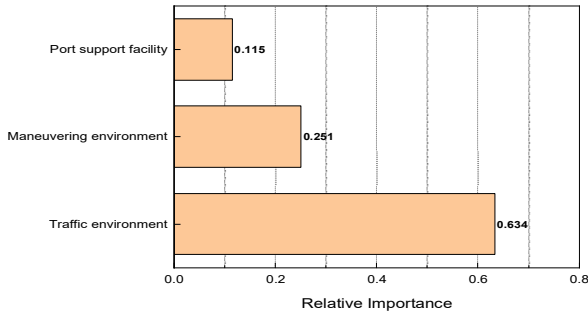


Fig. 6 The relative importance of level 1 factor in risk factors of Busan New port fairway

Fig. 7은 부산신항 통항로의 위험요소 간 중요도를 산출하는 설문지의 제2계층에 대한 중요도를 나타낸 것이다. 가중합계를 통해 전체 요소들 간의 중요도를 분석한 결과, 교통혼잡도(0.359)의 중요도가 가장 높았으며, 불충분한 시설(0.029)의 중요도가 가장 낮았다. 교통혼잡도의 중요도가 2순위로 선정된 교통흐름의 중요도(0.167)의 약 2배에 해당하여 교통혼잡도가 부산신항의 통항로의 최고 위험요소임을 확인하였다.

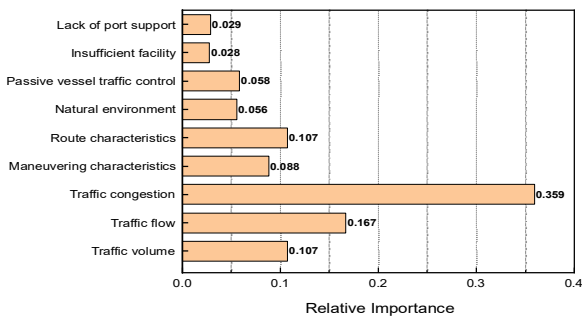


Fig. 7 The relative importance of level 2 factor in risk factors of Busan New port fairway

3.3.3 부산신항 통항로 안전대책 중요도 산출

Fig. 8은 부산신항 통항로의 안전대책에 대한 중요도를 산출하는 설문지의 제1계층에 대한 중요도를 계산한 결과이다. 이를 통해 제1계층의 중요도는 교통제도 도입(0.315), 교통흐름 분리(0.220), 관제(0.190), 항만지원(0.186), 선박 운항자간 의사소통(0.089) 순임을 확인하였다.

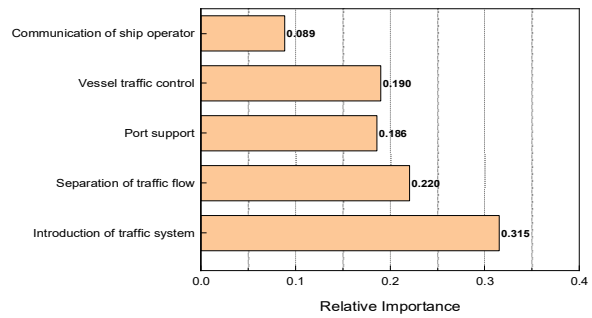


Fig. 8 The relative importance of level 1 factor in safety measures of Busan New port fairway

Fig. 9는 부산신항 통항로의 안전대책 간 중요도를 산출하는 설문지의 제2계층에 대한 중요도를 나타낸 것이다. 가중합계를 통해 전체 요소들 간의 중요도를 분석한 결과, 진입금지해역 설정(0.257)의 중요도가 가장 높았으며, 자체교육 실시(0.015)의 중요도가 가장 낮았다. 이에 따라 선박운항자들은 안전대책의 제1계층에서 1순위로 선정된 교통제도 도입의 세부 대책으로 진입금지해역을 설정을 가장 중요하게 판단함을 확인하였다.

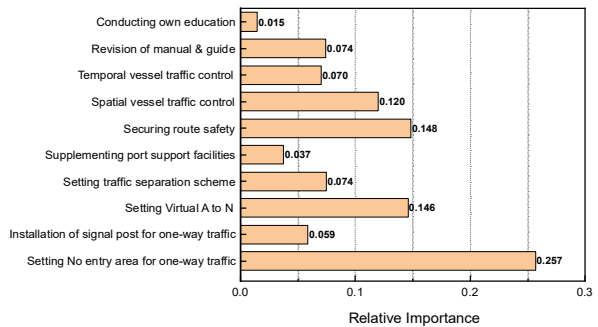


Fig. 9 The relative importance of level 2 factor in safety measures of Busan New port fairway

4. ES 모델을 통한 위험도 평가

4.1 안전대책 기반 시나리오 설정 및 평가 방법

본 연구에서 부산신항 진출입 항로 내 안전성 제고를 위하여 도출된 안전대책에 따라 통항 위험도의 증감 여부를 알아보기 위하여, 해상교통위험도 모델인 ES model을 기반으로 위험도를 평가하고자 하였다. ES model이란 조선환경 및 교통환경이 선박운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 만든 모델로(Inoue, 2000), 교통류를 재현 또는 생성하여 평가할 수 있다.

Table 5는 안전대책에 따라 ES model에 적용 가능한 시나리오를 설정한 것이다.

Table 5 Setting scenario based on safety measures

No	Scenario	Safety measures
1	Setting No entry area for one-way traffic	Setting No entry area for one-way traffic
		Spatial vessel traffic control
		Temporal vessel traffic control
		Installation of signal post for one-way traffic
2	Route width expansion	Securing route safety
3	Traffic separation by virtual AtoN	Setting virtual AtoN
4	Traffic separation by traffic separation scheme	Setting traffic separation scheme
-	-	Revision of manual & guide
		Supplementing port support facilities
		Conducting own education

시나리오는 서컨테이너부두 개장에 따른 입출항 선박이 출현할 때, 각 안전대책을 적용하여 위험도 경감 여부를 알아보는 것이 목적이다. Table 5를 보면 매뉴얼 및 지침서 개정, 항만시설 지원, 자체 교육 수행은 교통류 시뮬레이션으로 구현이 불가하여 시나리오에서 제외하였으며, 진입금지해역 설정, 공간적·시간적 관제, 일방통행을 위한 신호소 설치의 세부 방식에 차이가 있지만, 4가지 대책 모두 입출항 선박의 통행을 제한하는 방식이기 때문에 하나의 시나리오로 적용하였다.

ES model은 조선험경스트레스치와 교통환경스트레스치로 구성되며, 두 스트레스치를 종합한 값을 종합환경스트레스치라 한다. 종합환경스트레스치는 0~500인 경우 어느 쪽을 향하여도 매우 안전하다고 느끼는 상태에서 안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼는 상태까지의 범위, 500~750인 경우 안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼는 상태에서 조금 위험을 느끼는 상태까지의 범위, 750~900인 경우 조금 위험을 느끼는 상태에서 위험을 느끼는 상태까지의 범위, 900~1,000인 경우는 위험을 느끼는 상태에서 매우 위험을 느끼는 상태까지의 범위이다(Park et al., 2013). 따라서 본 논문에서는 종합환경스트레스치 750이상의 비율(이하 위험비율)을 시나리오별 위험도로 간주하였다. 시뮬레이션에 의해 생성된 선박은 설정된 Way point에 따라 움직이며, 이는 교통데이터 분석 결과를 통해 입항 및 출항하는 선박들의 경로대(출발지, 목적지, Waypoint)를 분석하여 재현한 매커니즘으로서 데이터 분석한 것을 바탕으로 재현하였으며 피항조선은 고려되지 않았다.

#### 4.2 서컨테이너 부두 개장에 따른 위험도 평가

부산신항의 교통흐름을 재현하기 위하여 7일간의 GICOMS 데이터를 분석하였으며, 이를 통해 부산신항 부두로 입출항하

는 화물선, 입출항 선박의 항행 지원을 위한 항만예선 등의 흐름을 나타내고자 하였다.

시나리오별 위험도 평가 시 부산신항 부두로 입출항하는 선박에는 안전대책을 적용하였으며, 항만예선 등 입출항 선박을 지원하는 선박은 통행이 제한되는 경우를 제외하고 안전대책 적용과 무관하게 기존 교통흐름을 유지하였다.

Fig. 10은 현재 부산신항의 교통흐름을 재현하고, 서컨테이너 부두에 입출항하는 선박이 존재하는 경우를 가정하여 해상교통류 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과를 열지도로 나타낸 것이다.

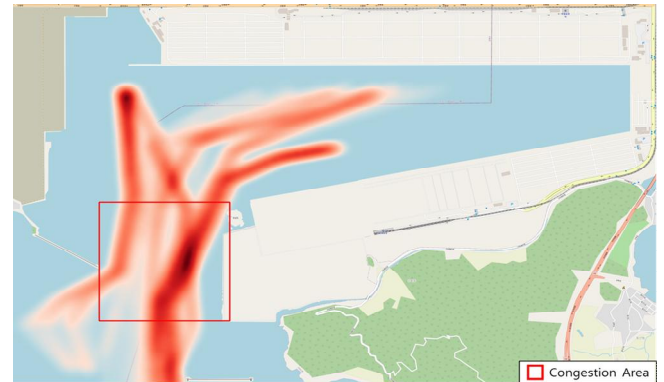


Fig. 10 Heatmap of risk according to passing vessels at west container terminal

Fig. 10은 색이 진할수록 해당 구간이 밀집되고 위험도가 높다는 것을 의미한다. 따라서 서컨테이너 부두가 개장한다면 본 논문에서 정의한 병목구간이 위험해역임을 확인할 수 있다. 해상교통류 시뮬레이션상 위험도 평가 결과, 현재 흐름에서 서컨테이너 부두에 입출항하는 선박이 등장할 경우, 위험비율은 13.19%임을 알 수 있었다.

#### 4.3 안전대책에 따른 시나리오별 위험도 평가

##### 4.3.1 항로표지 이동을 통한 항로폭 확장

Fig. 11은 부산항 5항로에 존재하는 No. 110번 항로표지 이동으로 항로폭이 150m 확장되는 경우에 대해 해상교통류 시뮬레이션을 실시한 결과를 위험단계별로 나타낸 것이다.

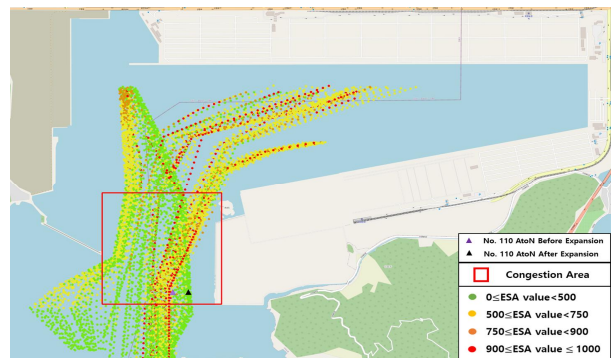


Fig. 11 Risk stage area by route width expansion

해상교통류 시뮬레이션 평가 결과 항로표지 이동으로 인하여 5항로 입구의 항로폭이 확장되는 경우의 위험비율은 12.98%이다.

#### 4.3.2 가상항로표지를 활용한 교통흐름 분리

Fig. 12는 현재 토도 제거 후 설치되어 운용 중인 가상항로표지를 중심으로 하여 입출항 흐름을 분리한 경우에 대해 해상교통류 시뮬레이션을 실시한 결과를 위험단계별로 나타낸 것이다.

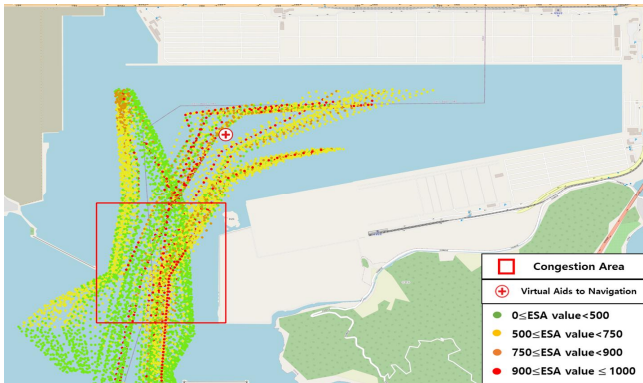


Fig. 12 Risk stage area by traffic separation through virtual AtoN

해상교통류 시뮬레이션 평가 결과 가상항로표지를 통해 항만 내 통행흐름을 분리한 경우의 위험비율은 12.99%이다.

#### 4.3.3 통항분리대 설정을 통한 교통흐름 분리

Fig. 13은 부산신항에 입출항하는 항로인 5항로를 반으로 나누어서 통항분리대를 설정하여 입출항 흐름을 분리한 경우에 대해 해상교통류 시뮬레이션을 실시한 결과를 위험단계별로 나타낸 것이다.

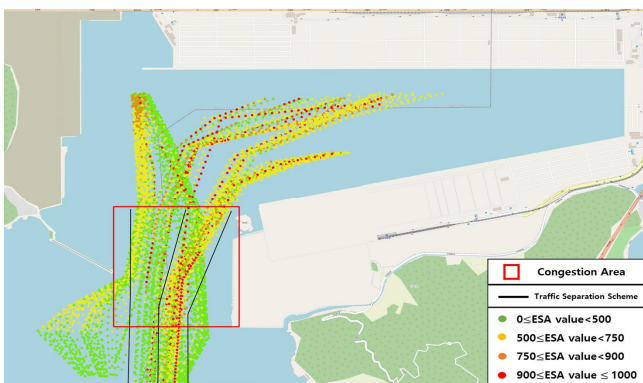


Fig. 13 Risk stage area by traffic separation through TSS

해상교통류 시뮬레이션 평가 결과 통항분리대에 의해 5항로 내 통행흐름을 분리한 경우의 위험비율은 12.60%이다.

#### 4.3.4 진입금지해역 설정을 통한 통항제한

Fig. 14는 대형선박이 입출항할 때 본 연구에서 정의하는 병목구간에 진입금지 해역을 설정하여 타 선박의 통항을 통제하는 경우에 대해 해상교통류 시뮬레이션을 실시한 결과를 위험단계별로 나타낸 것이다.

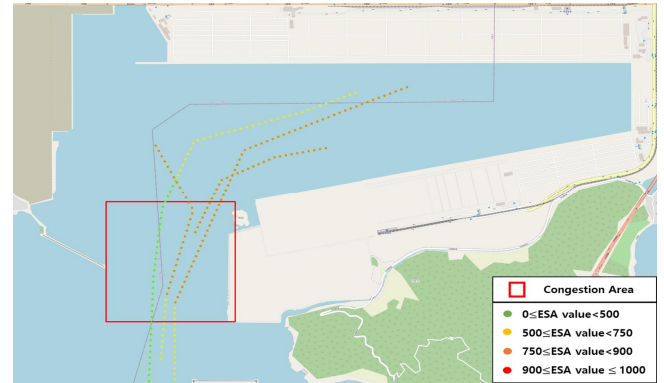


Fig. 14 Risk stage area by setting no entry area

진입금지해역 설정의 경우, 부산신항 내 초대형 및 극초대형 선박이 입출항할 때 병목구간 내 타 선박이 진입할 수 없도록 통제한 것이다. 따라서 Fig. 14는 타 시나리오와 동일한 시뮬레이션 시간 내 초대형 및 극초대형 선박이 출현하는 경우의 항적만 나타나 있다.

해상교통류 시뮬레이션 평가 결과 진입금지해역 설정을 통하여 일방통행을 실시하는 경우의 위험비율은 4.96%이다.

#### 4.4 해상교통류 시뮬레이션 및 설문조사 결과 비교

해상교통류 시뮬레이션 결과, 서컨테이너 부두 개장에 따라 부산신항 내 위험비율은 13.19%로 예상됨을 알 수 있었다. 이에 안전대책을 적용해 보았을 때, 진입금지해역 설정(4.96%)이 가장 큰 위험비율 감소 효과를 보였으며, 통항분리대 설정을 통한 통행흐름 분리(12.60%), 항로표지 이동을 통한 항로폭 확장(12.98%), 가상항로표지 활용을 통한 통행흐름 분리(12.99%) 순으로 위험비율이 감소함을 알 수 있었다. 항로표지 이동을 통한 항로폭 확장 및 가상항로표지 활용을 통한 통행흐름 분리는 위험비율상 거의 동일하였다.

해상교통류 시뮬레이션 결과를 AHP 기법을 활용한 안전대책 중요도 결과와 비교하였을 때, 진입금지해역 설정이 가장 중요도가 높고 위험비율 감소 효과가 컸음을 알 수 있었다. 설문조사 결과 항로 안전성(항로폭 확장), 가상항로표지 활용, TSS 설정 순으로 중요도가 높았으나, 해상교통류 시뮬레이션 결과 TSS 설정, 항로 안전성(항로폭 확장), 가상항로표지 활용 순으로 위험비율 감소 효과가 컸다.



## 5. 결 론

부산신항은 우리나라 수출입 물량의 60%를 처리하는 세계적인 항만으로 물동량이 우리나라에서 가장 많고 대형 컨테이너 선들의 입출항이 잦다. 따라서 우리나라의 원활한 물류 수송과 해양사고 예방을 위해 선박의 통항 안전대책을 마련하여 항만의 안전성을 확보할 필요가 있다. 이에 본 연구는 부산신항 진출입 항로 내 선박 통항 안전성을 향상하는 방안을 제시하였다.

(1) 부산신항의 현황 분석 결과, 부산신항의 물동량 증가에 따라 극초대형선의 입출항이 증가하는 추세이고 2022년 6월 현재 남컨테이너 터미널 3선석이 추가 개장되어 운영 중이며 2023년 7월에는 서컨테이너 터미널 2개의 선석이 추가 개장될 예정이다. 또한, 해상교통흐름 분석 결과, 출항선박이 호란도 쪽으로 근접하여 항행하기 때문에 입항선박이 육지와 근접하게 항행하는 경향이 있음을 파악하였다. 이로 인하여 서방과제와 호란도 사이 선박 밀집에 따른 병목구간이 발생할 것으로 예상되었으며, 잠재적인 충돌 위험성이 존재한다고 판단하였다.

(2) 부산신항 진출입 항로의 선박 통항 안전성 향상을 위하여 통항로의 위험요소와 안전대책을 식별하고자 선박 운항자를 대상으로 AHP 기반 설문조사를 실시한 결과, 부산신항에 입출항하는 선박을 운항하는 도선사들은 부산신항 통항로의 가장 큰 위험요소가 항내 교통혼잡도라고 판단하는 것을 알 수 있었다. 이를 위한 안전대책으로는 교통 혼잡이 예상되는 구역에 일방통행을 위한 진입금지구역을 설정하는 교통제도가 도입되는 것이 바람직하다고 판단하였다.

(3) 부산신항 내 안전성 제고를 위해 도출된 안전대책의 적합성 여부를 판단하기 위하여 해상교통류 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과 항만 내 서컨테이너 부두 입출항 선박이 출현하는 경우에 안전대책으로 진입금지해역 설정, 통항분리대 설정, 항로표지 이동, 가상항로표지 활용 순으로 위험비율 감소 효과가 큼을 알 수 있었다. 또한, 이를 AHP 분석 결과와 비교해본 결과, 통항분리대 설정에는 중요도와 위험비율 간의 차이가 다소 존재하였으나 나머지 안전대책에 대해서는 중요도와 위험비율 감소 순위가 동일함을 알 수 있었다.

본 연구는 부산신항 내 통항 안전성 제고를 위하여 안전대책에 대한 중요도와 위험도를 정량적으로 평가하였기에 정책 마련의 기반이 될 수 있을 것으로 보인다. 추후 연구에서는 서컨테이너 터미널의 추가 개장이 완료된 이후 실제 선박 통항 분석을 통하여 본 연구에서 제시한 안전대책에 대한 효과의 검증과 진입금지구역 설정 시 타 선박의 위험비율 상승을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

## References

- [1] Busan Harbour Pilot's Association(2022), Arrival Pilotage Vessels for Last 10 Years in Busan New Port.
- [2] Busan Port Authority(2021), Busan Port Container Transport Statistics, <https://www.busanpa.com/kor/Contents.do?mCode=MN1003>.
- [3] Busan Port Authority(2022), 2022 BPA Port Development Status, <http://www.busanpa.com>.
- [4] Hwang, T. G., Yeom, G. S., Seo, M. J., Lee, C. M. and Lee, D. W.(2021), "Impact of the Thruster Jet Flow of Ultra - Large Container Ships on the Stability of Quay Walls", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 35(6), pp. 403-413.
- [5] Inoue, K.(2000), Evaluation Method of Ship handling "Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways", *Journal of Navigation*, 53(1), pp. 167-180.
- [6] Kim, C. H., Park, Y. S. and Kim, D. W.(2020) "A Study on the Safety Measures for Mega Container Ships Calling at Busan New Port from Perspective of Pilotage", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 44(3), pp. 174-180.
- [7] Kim, N. E., Park, Y. S., Park, S. W., Kim, C. H., Kim, D. W. and Park, D. H.(2021), "A Study on the Risk Analysis of Traffic Flow Changes in Busan New Port", *Proceedings of Journal of the Korean Society of Marine Environment and safety*, p. 30.
- [8] Korean Maritime Safety Tribunal(2021), Container carrier Milano Bridge crane accident, Special Investigation Report on Marine Accident, pp. 1-66.
- [9] Lee, S. D.(2017) "A Basic Study on the Distance of Safe Passing Considering Ship-to-Ship Interaction", *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 29(5), pp. 1343-1355.
- [10] Min, J. H.(2015), *Smart Management Science*, Life and power press, pp. 414-500.
- [11] Ministry of Ocean and Fisheries(MOF)(2022), "Container Volume Recovered before Corona in 2021", pp. 1-10.
- [12] Park, J. S., Park, Y. S. and Lee, H. K.(2013), *Marine Traffic Engineering*, pp. 163-167.
- [13] Seong, Y. C.(2014), "Assessment on Navigational Stress and Fairway Width according to Traffic Flow", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 38(3), pp.253-259.
- [14] Shin, D. W., Park, Y. S. and Lee, M. K.(2018), "An Analysis on Traffic Flow and Speed Distribution of

Pilot onboard ship at Busan New Port”, Proceedings of Journal of the Korean Society of Marine Environment and safety, p. 49.

- [15] Won, S. H., Cho, S. W. and Lee, J. H.(2015), “Counter-Strategies of Busan Port against Expansion of Container Vessel Size”, 31(2), pp. 249-274.

---

Received 08 July 2022

Revised 29 July 2022

Accepted 10 August 2022