

부산신항 진출입 항로 내 선박 통행 안전성 향상에 관한 연구

최봉권* · † 박영수 · 김니은** · 김소리*** · 박현구**** · 신동수*****

*부산항 도선사, † 한국해양대학교 항해융합학부 교수, **한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 박사과정생, ***한국해양대학교 일반대학원 석사과정생, ****한국해사컨설팅(주) 연구원, *****한국해양수산연수원 교수

요 약 : 물동량 증가로 인하여 부산신항에는 극초대형 컨테이너 선박들이 입항하고 있으며 서컨테이너 부두 건설 사업이 완료되면 부산신항 진출입 항로 내 다양한 조우 상황 발생으로 충돌 위험 상황을 초래할 수 있어 선박 통행 안전성 향상 방안 마련을 위하여 부산신항 내 항만 입출항 현황과 해상교통흐름을 살펴보고, AHP 기법을 활용하여 위험요소 및 안전대책 식별로 도출된 안전대책을 기반으로 환경 스트레스 모델을 활용하여 해상교통류 시뮬레이션을 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 있을 것이다.

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

1. 연구 배경 및 목적

- 물동량의 지속적 증가로 부산 신항은 2020년부터 세계 최대 크기인 24,000 TEU급 극 초대형컨테이너 선박 기항을 시작으로 최근 1년간(2021년) GT 20만톤급 이상의 극초대형 컨테이너선 130척이 입항함
- 대형 컨테이너 선박의 입출항 척수는 2012년 대비 (2021년 기준) 약 3.5배 증가, 컨테이너 터미널 추가 개장 및 건설이 계속 진행되는 반면 부산 신항 내의 항로 폭은 항만 개장 당시와 변함이 없어 혼잡구역 발생에 따른 대형 해양사고 발생의 위험이 잠재함

부산 신항 내 입출항로 혼잡구역의 잠재적 해양사고 위험 방지를 위한 안전성 향상 방안을 마련하는 것이 목적임.

2. 해상교통현황 분석

부산 신항 항만 현황

Fig. 1 Width of entrance in Busan New Port

- 2021년 기준 2만 TEU 이상 컨테이너선 연간 130척 입항함
- 서 컨테이너 부두 항로폭 약 710m로 24,000TEU급 선박 기항에는 협소(GT 55,000급 고가 통항 시 861.66m 필요) 선박간 상호 간섭작용 방지를 위해 최소 900m 이상 필요하나 200m 내외로 고정됨
- 2022년 6월에 발간 예정 선박 추가개장 종료 및 2023년 7월 서부 2개 부두 개장 시 혼잡도 증가

부산 신항 입출항 현황

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

Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	65,098	65,774	65,042	65,882	72,882	72,882	72,882	72,882	72,882	72,882

• 초대형 및 극 초대형선 기항이 2021년 기준 2012년 대비 약 3.5배 증가(선박크기도 실험대비 약 3.7배 증가)

대상해역의 교통흐름 분석

Fig. 2 Marine traffic flow of passing vessels in Busan New Port

- 2022년 7월 3일간 AIS Data 자료수집 교통흐름분석 예정(그림은 2020년 7월간 자료)
- 일방 교통흐름에 선석 추가개장 시 서 방파제와 초안드 사이 구간엔 병류현상 발생 우려가 매우 높음 것으로 확인됨
- 서 방파제와 초안드 사이의 그림 2 혼잡구역을 병류구간으로 정의함

3. AHP 분석을 이용한 통항로 내 위험요소 및 안전대책 요소 식별



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

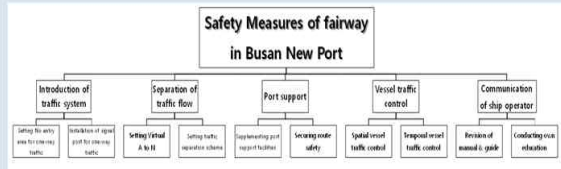


Fig.4 Structure of AHP analysis for safety measures in Busan New Port fairway

1. 분석 결과

3.1 설문 응답자 세부사항

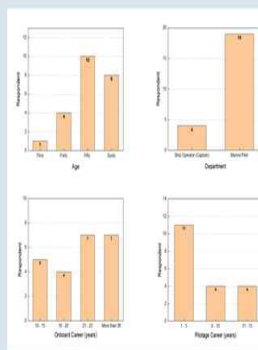


Fig. 5 Specification of respondent

Table 2 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 3 Characteristics of valid respondent

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

† 교신저자 : 종신회원, youngsoo@kmou.ac.kr, (051) 410-5085

* 정회원, captbkc@naver.com, (051) 465-1651

3.2 부산 신항 통항로 위험요소 중요도 산출

Fig. 6과 같이 위험요소 중요도 산출결과 제1계층은 **교통환경(0.634)** **조선환경(0.251)** **항만지원시설(0.115)** 순으로 상대적 중요도 높고, **교통환경**이 통항로의 가장 큰 위험요소임을 확인함

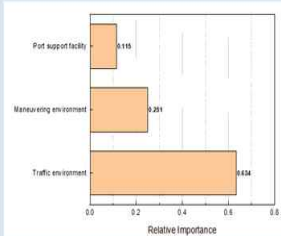


Fig. 6 The relative importance of level 1 factor in risk factor of Busan New Port fairway

Fig. 7과 같이 위험요소간 중요도 산출하는 제2계층에서는 **교통혼잡도(0.359)**로 가장 높고, **불충분한 시설(0.028)**로 가장 낮았으며 **교통혼잡도**가 통항로의 **최고 위험요소**임을 확인함

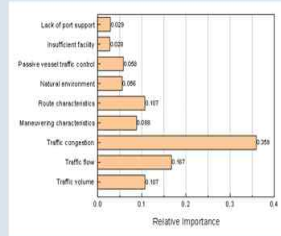


Fig. 7 The relative importance of level 2 factor in risk factor of Busan New Port fairway

3.3 부산 신항 통항로 안전대책 중요도 산출

Fig. 8과 같이 안전대책 중요도 산출결과 제1계층서는 **교통제도 도입(0.315)** **교통흐름분리(0.220)** **관제(0.191)** **항만지원(0.186)** **선박 운항시간 의사소통(0.089)**임을 확인함

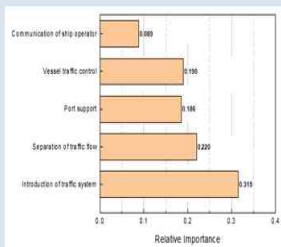


Fig. 8 The relative importance of level 1 factor in safety measures of Busan New Port fairway

Fig. 9는 안전대책간 중요도 산출하는 제2계층 분석결과로 **진입금지해역설정(0.257)**로 가장 높고, **자재교육 실시(0.015)**로 가장 낮았으며 선박 운항자들은 안전대책 1순위로 선정된 교통제도 도입 세부대책으로 **진입금지해역 설정**이 가장 중요하다고 판단함

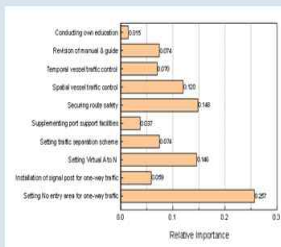


Fig. 9 The relative importance of level 2 factor in safety measures of Busan New Port fairway

4. ES 모델을 이용한 위험도 평가

1) 안전대책 기반 시나리오 설정 및 평가 방법

- 해상교통위험도 모델인 ES 모델은 조선환경 및 교통환경이 운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 만든 모델임
- Table 5는 안전대책에 따라 ES 모델에 적용 가능한 시나리오를 설정한 것임
- 서컨 터미널 개장 후 입출항선 출현 시 각 안전 대책을 적용하여 위험도 경감여부 확인목적임

Table 4. Stress values and acceptance criteria

Mariner's Subjective Judgment	Stress Value	Stress Rank	Acceptance
Extremely dangerous (6)	100	Catastrophic*	Unacceptable
Fairly dangerous (5)	80	Catastrophic*	Unacceptable
Somewhat dangerous (4)	75	Critical*	Unacceptable
Neither safe nor dangerous (3)	50	Marginal	Acceptable
Somewhat safe (2)	<50	Negligible	Acceptable
Fairly safe (1)	<50	Negligible	Acceptable
Extremely safe (0)	0	Negligible	Acceptable

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

2) 안전대책에 따른 시나리오별 위험도 평가

2.1 항로표지 이동을 통한 항로 폭 150미터 확장 시뮬레이션 결과 위험 단계별 위험비율은 12.98%임



Fig. 10 Risk stage area by route width expansion

2.2 가상항로표지를 이용한 교통흐름 분리 V-AtoN 중심 으로 입출항 흐름 분리 시 시뮬레이션 결과 위험 단계별 위험비율은 12.99%임



Fig. 11 Risk stage area by traffic separation through virtual AtoN

2.3 통항분리대 설정을 통한 교통흐름 분리 부산항 5항로에 TSS 설정 시 위험비율은 12.60%임



Fig. 12 Risk stage area by traffic separation through TSS

2.4 진입금지해역 설정을 통한 통항제한 병목구간 진입금지 구역 설정 일방통행 시 위험비율은 4.96%임



Fig. 13 Risk stage area by setting no entry area

3) 서컨테이너 부두 개장에 따른 위험도 평가

Fig. 14 서컨 부두에 입출항 선박 존재를 가정한 시뮬레이션 결과로 나타난 열지도로 본 논문에서 정의한 병목구간이 위험해역임을 확인함 위험비율은 13.19% 있음

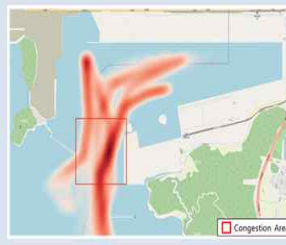


Fig. 14 Heatmap of risk according to passing vessels at west container terminal

4) 해상교통류 시뮬레이션 및 설문조사결과비교

- 해상교통류 시뮬레이션 결과 **진입금지해역 설정**이 (4.96%)로 가장 큰 위험비율 감소 효과가 있고, 통항흐름 분리(12.60%), 항로표지 이동을 통한 항로 폭 확장(12.98%), 가상항로표지 활용을 통한 통항흐름 분리(12.99%) 순으로 위험비율이 감소함

- 해상교통류 시뮬레이션 결과를 AHP 기법을 활용한 안전대책 중요도 결과와 비교 시 **진입금지해역 설정**이 가장 중요도가 높고 위험비율 감소 효과 큼

5. 결론

본 연구는 초대형선과 극초대형 컨테이너선들의 입출항이 잦은 부산 신항 내 진출입 항로의 통항 안전성 향상 방안을 제시함

- 부산 신항의 현황 분석 결과, 극 초대형선의 입출항이 증가 추세이고, 해상교통류 분석결과 터미널 추가 개장에 따른 서 방파제와 호안도 사이 **병목구간 발생**이 예상되어 **장래적 중도의 위험성이 존재**한다고 판단
- 선박 운항자 대상 AHP 기반 **설문조사 결과 가장 큰 위험요소는 항내 교통혼잡**으로 나타났으며, 안전대책으로는 교통혼잡 예상 구역에 **일방통행**을 위한 **진입금지구역 설정**이 바람직한 것으로 판단함
- AHP 분석에서 도출된 안전대책의 적합성 여부의 판단을 위해 해상교통류 시뮬레이션 **실시 결과, 안전대책으로 진입금지해역 설정, TSS 설정, 항로표지 이동, 가상항로표지활용** 순으로 위험비율 감소 효과가 큼을 확인함
- 본 연구는 부산 신항 내 통항 안전성 향상을 위하여 **안전대책에 대한 중요도와 위험도의 정량적 평가**로 정책마련의 기반이 될 수 있을 것으로 보이며, 추후 서컨 추가 개장 후 실제 선박 통항 분석을 통하여 본 연구에서 제시한 안전대책의 효과에 대한 검증과 일방통행에 따른 타 선박의 위험도 증가 여부에 대하여 추가적 연구의 필요가 있음