

등부표 접촉사고 발생의 위험성 평가에 관한 기초 연구 - 부산항신항 해역을 중심으로 -

이명기* · † 박영수 · 정해상** · 국승기***

*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 박사과정생, † 한국해양대학교 해사수송과학부 교수,

한국해양대학교 대학원 박사과정생, *한국해양대학교 해양경찰학과 교수

Risk Assessment for Contact Accident of Buoy - Focusing on Busan New Port -

Myoung-ki Lee* · † Young-Soo Park · Hae-Sang Jeong** · Seung-Gi Gug***

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

***, † Professor, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**PhD. Candidate, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 해상등부표는 선박 통항의 안전을 위해 필요한 시설로 파손 및 유실되는 경우 예상치 못한 예산 지출뿐 아니라 등부표 운용이 불가능해짐에 따라 선박 통항 안전에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 해역의 교통흐름을 반영할 수 있는 해상교통평가지표를 적용하여 등부표 접촉사고의 위험성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 평가대상 해역을 등부표 설치기수가 많고 등부표 접촉사고가 많이 발생하는 부산항 제5항로로 설정하고, 대상해역의 등부표 접촉사고 현황을 조사했다. 그리고 해상교통평가지표로 사용될 수 있는 해상위험평가도구인 IALA Waterway Risk Assessment Programme(IWRAP MkII)와 Potential Assessment of Risk Model(PARK Model)를 활용하여 등부표 접촉사고 발생의 위험성을 평가했다. 그 결과, 마산항 입출항 선박과 부산항신항 입출항 선박으로 교통흐름이 복잡한 경계해역 인근에 위치한 등부표와 항로를 따르지 않는 선박들이 항로를 가로지르는 운항패턴을 보이는 가덕수도 입구 인근에 위치한 등부표, 부산항신항 내항항로의 방파제 인근에 위치한 등부표가 접촉사고 위험성이 큰 것으로 평가되었다. 본 연구는 등부표 사고 위험성을 평가할 수 있는 통합 모델을 만드는 기초 자료로 활용될 수 있으며, 추후에 다양한 해역의 접촉사고 위험성을 평가하고, 미래교통량을 추정·적용하여 등부표 신설 시 안전한 등부표 설치 위치를 선정할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 부산항신항, 등부표 접촉사고, 위험성 평가, 해상교통평가지표, 등부표 설치 위치

Abstract : Buoys are a necessary component for the safety of vessel traffic. However, if the buoy becomes inoperable from damage and loss, it can have significant impact on vessel traffic safety as well as unexpected budget spending. The purpose of this study was to evaluate the risk of accidental contact by applying the marine traffic assessment index that can reflect the traffic flow in the sea area. First, Busan Port No. 5 fairway, with a high number of buoys and many contact accidents, was set as the sea area for assessment. to investigate the status of accidental contact and evaluate risk of contact accidents based on the IALA Waterway Risk Assessment Programme (IWRAP MkII) and Potential Assessment of Risk Model (PARK Model). As a result, buoys are near the Precautionary Area wherein the traffic flow was complicated by the Masan port vessel and Busan new port vessel, and buoys are near the entrance of the Gadeok waterway, wherein vessels show a pattern of navigation across the fairway and buoys are near the breakwater in the inner fairway were considered as high risk for contact accidents. This study can be used as basic data for establishing an integrated model to evaluate the risk of buoy contact accidents.

Key words : Busan New Port, Buoy Contact Accident, Risk Assessment, Marine Traffic Assessment Index, Location of Installing Buoy

1. 서 론

항로표지는 선박이 항만 간을 운항할 때 경제적이고 안전

한 항로를 선택할 수 있도록 유도하는 항행 원조 시설이다. 그 중 해상등부표는 선박 통항의 안전을 위해서 필요한 시설로, 항해하는 선박에게 암초나 수심이 얇은 곳의 소재를 알려거나

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

* 정회원, lmk0620@kmou.ac.kr

** 정회원, goodfeeling@kmou.ac.kr 051)410-4835

*** 종신회원, cooksg@kmou.ac.kr 051)410-4227

(주) 이 논문은 “등부표 접촉사고 발생의 위험성 평가에 관한 연구 - 부산항신항 접근항로를 중심으로-”란 제목으로 “2019 한국해양과 학기술협의회 공동학술대회 한국해양학회논문집(제주 국제컨벤션센터, 2019.5.15-17, pp.85-86)”에 발표되었음.

또는 항로의 경계를 알리기 위하여 해상의 고정위치에 띄워놓은 구조물을 말한다(Jeong and Gug, 2013).

등부표는 해상교통량, 선박의 종류 및 규모 등을 조사·연구하고 해상환경의 특성과 항만개발 계획 등을 검토하여 설치되지만, 해상환경의 변화에 따른 선박추돌, 기상악화 및 기타 원인으로 매년 등부표의 파손 및 유실이 발생하고 있다. 특히 2006년부터 2017년까지 10년간 부산항 등부표사고를 원인별로 분석해보면 선박추돌 사고가 57%로 절반 이상을 차지한다(MOF, 2017)

등부표 사고는 결과적으로 예상치 못한 예산 지출뿐 아니라 등부표 운용이 불가능해짐에 따라 선박 통항 안전에도 큰 영향을 미칠 수 있다.

우리나라 정부에서는 등부표 사고발생을 예방하기 위해서 매년 항로표지연보를 발행해 항로표지 운용현황을 파악하고 있으며, 특히 부산지방해양수산청에서는 부산항 주요항로 항로표지 재배치 연구용역을 통해 항로표지의 사고현황조사, 도상검토, 관리기관의 의견수렴을 기반으로 사고 안전대책을 수립하였다(MOF, 2017; BROOF, 2015). 또한 항로표지 사고와 관련된 연구로 Moon et al.(2018)과 Moon and Kim(2019)이 항로표지사고로 인해 소요되는 관리자의 경제활동과 이용자의 불편함을 비용으로 정량화할 수 있는 항로표지사고의 사회적비용(Social Cost) 평가모델을 개발하여 항로표지사고로 인한 경제적 손실을 추정하고자 했다. 항로표지 설치와 관련된 연구로는 Kim et al.(2008)이 국내 무역항 항로에 배치되는 등부표의 최적 배치에 대한 기준을 설정하기 한 기초자료로서 항해자들을 대상으로 등부표의 시인거리와 배치에 관한 선호를 분석하였으며, Kim et al.(2014)이 항로표지 신설 및 재배치 시에 전자해도 화면에서 원하는 위치에 바로 설치할 수 있도록 지원하는 소프트웨어를 개발하여 설계안의 효율성 및 적절성 여부를 판단하는데 도움을 줄 수 있도록 하였고, 최근 시뮬레이터를 활용하여 정량적인 평가를 통한 항로표지 배치에 관한 연구도 발표되었다(Part et al., 2019).

하지만 기존 항로표지 설치에 관한 연구는 시인성에 관한 연구이고, 항로표지의 현황 및 사고조사, 사회적비용 평가는 사후적 대비책에 불과하며, 항로표지의 위치는 전문가의 경험에 의해 결정되어 왔다. 즉, 도상검토와 의견수렴, 설문조사는 정성적인 자료로 대상 해역의 교통흐름을 반영하여 항로표지와의 접촉 위험성을 평가한 연구는 없는 실정이다.

본 연구에서는 해역의 교통흐름을 반영할 수 있는 해상교통평가지표를 적용하여 등부표 접촉사고의 위험성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 평가대상 해역을 항로표지설치기수가 많고, 등부표 접촉사고가 많이 발생하는 부산항신항 제5항로로 설정하고 제5항로의 등부표 접촉사고 현황, 해상교통평가지표로 사용될 수 있는 해상위험평가도구인 IALA Waterway Risk Assessment Programme(IWRAP Mk II)와 Potential Assessment of Risk Model(PARK Model)을 활용하여 등부표 접촉사고 발생의 위험성을 평가하고자 한다.

2. 등부표 접촉사고 위험성 평가 조건 설정

2.1 대상해역 설정

우리나라 등부표는 국가에서 관리하는 국유표지와 지방해양수산청 외 국가기관과 사설기관에서 관리하는 사설표지로 설치·운영된다. Table 1은 13개 지방해양수산청 중 등부표가 다수 설치된 상위 5개 항만의 국유 및 사설 등부표 현황과 2018년 선박 입출항 척수 현황을 나타낸 것이다(MOF, 2018).

Table 1 Number of national, private light buoy and arrival/departure of vessels of the top five ports

(Unit : number)

Port	National buoy	Private buoy	Arrival/departure of vessels
Incheon	154	129	36,215
Yeosu	103	136	14,775
Masan	54	113	12,334
Daesan	40	116	14,548
Busan	76	74	99,687

Table 1에서 보는 것과 같이 부산항은 선박 입출항 척수가 많고 항로에 등부표가 많이 설치된 항만으로 본 연구에서는 부산항을 대상항만으로 설정했다.

부산항 항로는 부산항 항법 등에 관한 규칙에 따라 제1항로(부산항로), 제2항로(남외항로), 제3항로(감천항로), 제4항로(북내항로), 제5항로(신항항로)의 5개 진입항로로 운영된다(Busan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2017). 부산항 진입항로별 등부표 설치기수는 항로의 길이, 폭 및 항만의 특성에 따라 상이하다. Table 2는 부산항 5개 항로의 등부표 설치 기수와 2006년부터 2015년까지 10년간의 부표 접촉사고 건수를 나타낸 것이다(MOF, 2017; BROOF, 2015).

Table 2 Number of light buoy and contact accident by fairway at Busan port

(Unit : number)

Fairway	No. of light buoy	Contact accident
No.1 fairway	10	12
No.2 fairway	12	21
No.3 fairway	6	6
No.4 fairway	3	4
No.5 fairway	49	38

Table 2에서 보는 것과 같이 부산항 5개 항로 중에서 제5항로에 49기의 등부표가 설치되어 부산항 등부표의 61.3%가 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 한편 제5항로의 등부표 접촉 사고는 38건으로 부산항 등부표 접촉사고의 46.9%가 제5항로

에서 발생한 것으로 조사됐으며, 설치 수 대비 접촉사고는 제 2항로의 등부표가 높은 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 등부표 설치기수가 많고, 등부표 접촉사고가 타 항로에 비해 많이 발생하는 부산항 제5항로의 가덕수도, 부산항신항 진입항로를 대상해역으로 설정하여 등부표 접촉 사고 위험성을 평가하고자 한다.

Fig. 1은 본 연구에서 설정한 대상해역을 나타낸다.

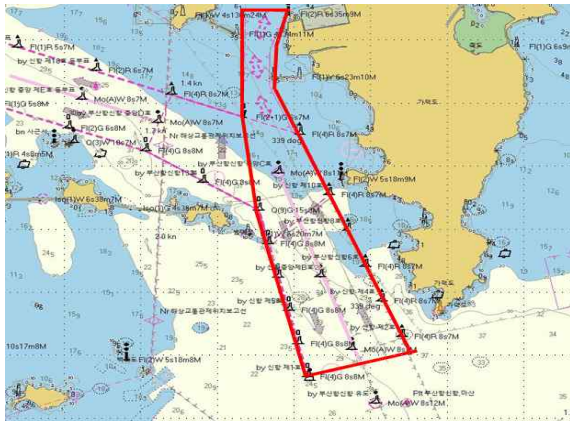
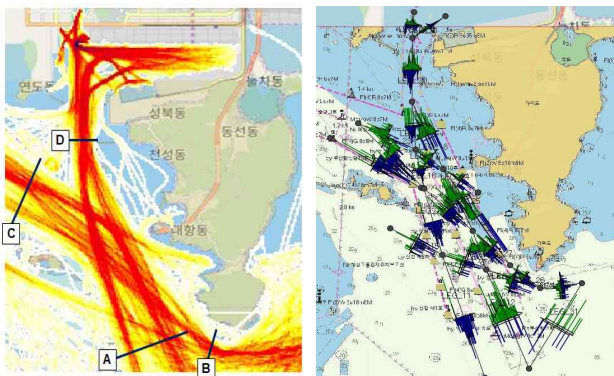


Fig. 1 Busan No.5 fairway

2.2 대상해역의 교통흐름 분석

부산항 제5항로의 등부표 접촉사고 위험성을 평가할 때 교통흐름을 반영하기 위하여 2017년 07월 08일부터 07월 10일까지 3일간의 GICOMS 자료를 이용하여 교통흐름을 분석했다.

Fig. 2는 교통흐름 분석을 위한 게이트라인을 포함한 제5항로의 선박 밀도와 항적분포를 나타낸 그림이다.



(a) Density plot (b) Ships track distribution

Fig. 2 Cumulative track of Busan No.5 fairway

Table 3은 Fig. 2 (a)와 같이 4개의 게이트 라인을 설정하여 3일간의 통행 척수를 나타낸 결과이다.

Table 3 Analysis of vessel traffic

(Unit: vessels)

Gate line	Number of ships	Gate line	Number of ships	Gate line	Number of ships
A	272	A→C	49	C→A	48
B	215	A→D	73	D→A	81
C	234	B→C	57	C→B	57
D	221	B→D	10	D→B	9

Table 3에서 보는 바와 같이 부산항 제5항로에서는 정해진 항로를 따라 가덕수도를 통항하여 부산항신항 항내로 진입하는 선박, 분기점에서 마산항로를 이용하는 선박 뿐만 아니라 가덕도 동두말 남쪽 가까이로 접근하여 가덕수도를 가로질러 마산항로를 이용하는 선박 등으로 교통흐름이 구분된다.

2.3 대상해역 등부표의 선회반경 산출

등부표의 표체는 침추와 체인으로 연결되어 있어 외력에 의해 이출 거리가 생겨 선회 반경이 만들어진다. 또한, 등부표 (스파부이)의 표체는 침추와 바로 연결되어 외력에 의해 횡변 위량이 생겨 선회 반경이 만들어진다. 본 연구에서는 이러한 선회 반경을 선박이 접촉할 수 있는 등부표의 영역으로 간주하여 위험성을 평가하고자 했다.

Fig. 3은 등부표의 영역에 대한 개념을 나타낸다.

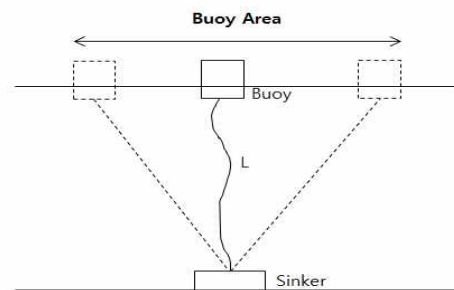


Fig. 3 Concept for buoy area

등부표 이출거리 검토 조건 중 외력은 교통흐름을 파악한 기간인 2017년 07월 08일부터 07월 10일까지 3일중 각 요소별 (풍속 12.2m/s, 파고 3.2m)로 가장 악화되었던 시점을 기준으로 했다(KMA, 2017). 수심은 해도에 명시된 값을 사용했으며, 조류는 최강창조류 · 최강낙조류 중 가장 높은 값(0.9kts)을 적용했다(KHOA, 2015).

부산항 제5항로의 등부표는 LL-28, LL-26(M), LSP-28 형식으로 되어있으며, LL-28, LL-26(M) 형식은 등부표 이출거리 $S(m)$ 을 계산하여 등부표 영역을 구하고, LSP-28 형식은 등부표 횡변위량 $D(m)$ 을 계산하여 등부표 영역을 구할 수 있다.

Fig. 4는 LL-28, LL-26(M)형식의 등부표 이출거리를 계산하는 기본 개념을 나타내며, 등부표 이출거리 $S(m)$ 를 계산하는 기본 식은 식(1)과 같다.

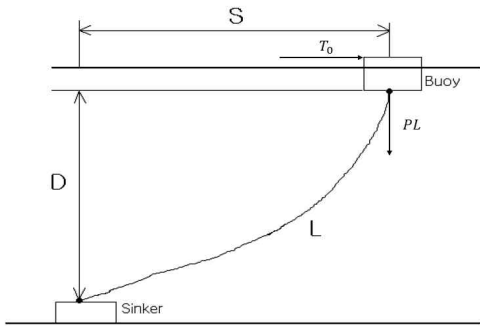


Fig. 4 Concept for calculating circling diameter

$$S = \int dx = \frac{T_0}{P} \sin^{-1} \left(\frac{P \times L}{T_0} \right) \quad (1)$$

여기서, T_0 : 수평력((풍력+조류력) \times 1.2) (kgf)

P : 체인의 수중중량 (kgf/m)

L : 체인의 길이 (m)

또한 Fig.5는 LSP-28 형식의 등부표 이출거리를 계산하는 기본 개념을 나타내며, 등부표 횡변위량 $D(m)$ 을 계산하는 기본 식은 식(2)와 같다.

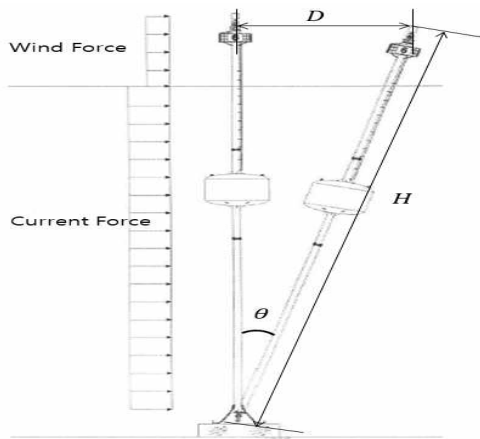


Fig. 5 Concept for calculating lateral displacement

$$D = \sin\theta \times H \quad (2)$$

여기서, θ : 외력(풍력+조류력)에 의한 경사각 (deg.)

H : 부표의 전체 길이 (m)

한편, 제5항로의 등부표 번호는 가덕수도 입구 좌측부터 부산항신항 1호등부표로 표시되며, 가덕수도 항로 중앙은 중앙 A,B,C호로 표시된다. 또한 부산항신항 진입항로가 시작되는 좌측에서부터 부산항신항 내항항로101호로 표시되며, Table 4

는 각 부표별 등부표 이출거리와 횡변위량을 계산하여 선회반경을 산출한 결과를 나타낸다.

Table 4 Circling diameter & displacement of No.5 fairway buoys

Buoy name	Buoy Type	Turning radius (m)
No.1	LL-28	9.251
No.2	LL-28	10.098
No.3	LL-28	9.325
No.4	LL-28	9.633
No.5	LL-28	9.467
No.6	LL-28	8.886
No.7	LL-28	9.568
No.8	LL-28	8.859
No.9	LL-28	9.758
No.10	LL-26(M)	7.383
No.11	LL-28	9.818
No.12	LL-26(M)	7.018
No.A	LL-28	9.818
No.B	LL-28	9.758
No.C	LL-28	8.824
No.101	LSP-28	1.562
No.103	LSP-28	1.562
No.104	LSP-28	1.562
No.105	LSP-28	1.562
No.106	LSP-28	1.562
No.107	LSP-28	1.562
No.108	LSP-28	1.562
No.109	LSP-28	1.562
No.110	LSP-28	1.562
No.111	LSP-28	1.562
No.112	LSP-28	1.562
No.113	LSP-28	1.562
No.118	LSP-28	1.562

3. 등부표 접촉사고 위험성 평가

3.1 등부표 접촉사고 분석을 통한 위험성 평가

등부표 접촉사고 위험성을 평가하기 위하여 2006년부터 2015년까지 10년간 가덕수도, 부산항신항 진입항로 및 신항항내에서 발생한 등부표 접촉사고를 조사한 결과, 가덕수도에 19건, 진입항로 및 신항 항내에서 19건으로 총 38건의 등부표 접촉사고가 발생했다. Fig. 6은 등부표별 접촉사고 건수를 원모형 안에 숫자로 나타낸 것이다(MOF, 2017).

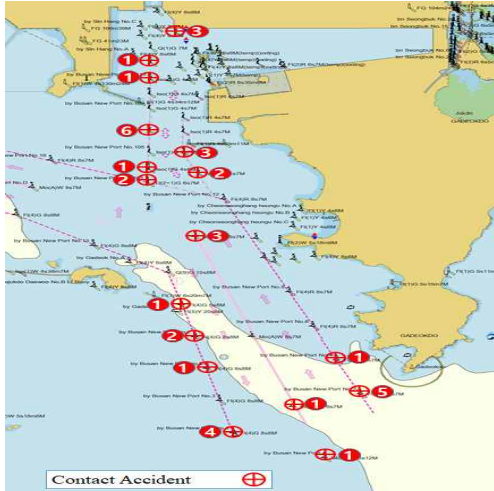


Fig. 6 Number of contact accidents by light buoy at Busan No.5 fairway

등부표 접촉사고가 많이 발생한 상위 5개 등부표를 살펴보면, 부산항신항 진입항로에 있는 부산항신항 내항항로 107호에서 6건으로 가장 많은 접촉사고가 발생하였고, 가덕수도에서는 입구에 설치된 부산항신항 2호가 5건, 부산항신항 1호가 4건으로 접촉사고가 많이 발생했다. 또한 부산항신항 중앙C호, 부산항신항 내항항로 106호, 부산항신항 내항항로 119호에서 3건의 등부표 접촉사고가 발생했다.

3.2 IWRAP MkII를 활용한 위험성 평가

3.2.1 IWRAP MkII의 개요

IWRAP MkII는 해상 위험 평가에 유용한 모델링 도구로 사용되며, 교통량, 교통의 분포 및 해저 지형 정보를 기반으로 선박과의 충돌, 좌초 빈도를 추정한다(IALA, 2010). 본 연구에서는 등부표를 해상의 고정된 장애물로 간주하고, 선박이 이 장애물에 좌초될 가능성을 계산하고자 했다. Fig. 7은 IWRAP MkII 모델 중 좌초 가능성 산출에 대한 개념을 나타내며, 좌초 확률을 산출하는 기본 식은 식(3)과 같다(Omar, F. E., 2013).

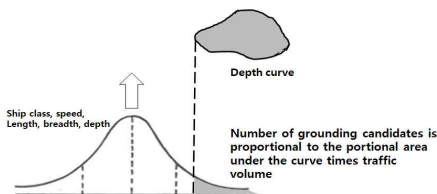


Fig. 7 Concept for calculating the number of grounding candidates

$$X_{Gnd} = N_{Gnd} \cdot P_c \quad (3)$$

여기에서, X_{Gnd} : Number of Grounding Candidates

N_{Gnd} : Number of Annual Groundings

P_c : Causation Probability

3.2.2 IWRAP MkII를 활용한 위험성 평가 결과

등부표가 설치된 위치에서 선회 반경만큼을 해상 장애물로 간주하고, 3일간의 GICOMS 자료를 기반으로 교통 흐름을 반영하여 각 장애물과의 좌초사고 발생 빈도를 추정함으로써 등부표별 연간 접촉사고 발생 빈도를 추정했다.

Fig. 8은 선박 간 충돌을 포함한 IWRAP MkII 계산 결과이며, Fig. 9는 각 등부표별 연간 접촉사고 발생 횟수를 추정한 결과이다.

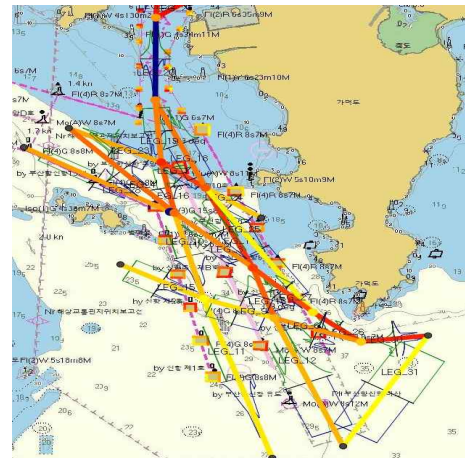


Fig. 8 Result of IWRAP MkII calculation

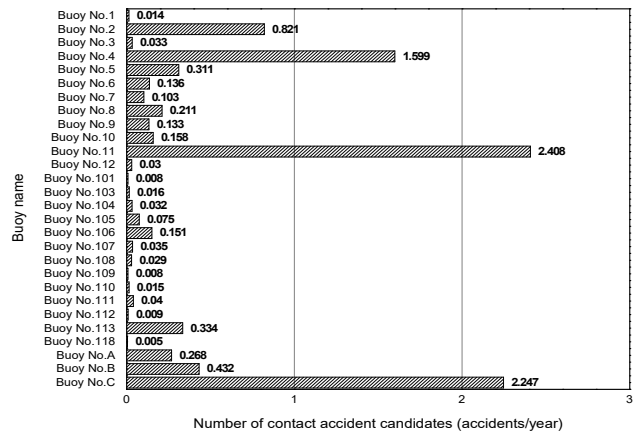


Fig. 9 Result of calculating the number of contact accident candidates

Fig. 8은 부산항신항 교통량을 반영하여 선박 간의 충돌 가능성과 등부표와의 접촉 가능성을 색으로 표현한 것으로, 색이 진할수록 충돌/접촉 위험이 높다는 것을 나타낸다. 항로를

따라 항해하지 않거나, 부산항신항 입구와 같이 항로 구분이 되어 있지 않은 곳에서 선박 간의 충돌확률이 높게 나타났지만, 본 연구는 등부표 접촉가능성에 대한 연구이기 때문에 이는 배제하고 각 등부표별 접촉가능성을 Fig. 9와 같이 따로 그래프로 표현했다.

IWRAP MkII를 활용한 위험성 평가 결과, 접촉가능성이 높은 상위 5개 부표를 살펴보면 부산항신항 11호가 2.408건/연으로 가장 높게 나타났으며, 그다음 중앙C호가 2.247건/연, 부산항신항 4호가 1.599건/연, 부산항신항 2호가 0.821건/연, 중앙B호가 0.432건/연으로 높게 나타났다. Fig. 10은 접촉가능성이 높은 상위 5개 등부표를 표시한 그림이다.



Fig. 10 Top 5 buoys with high contact accident potential by IWRAP MkII

위의 5개 등부표의 접촉사고 발생빈도가 높게 추정된 이유는 부산항신항 11호와 중앙C호는 신항과 마산항의 분기점으로 경계해역 인근에 위치하기 때문인 것으로 사료되며, 부산항신항 2호, 4호, 중앙B호는 항로를 따르지 않는 선박들이 항로를 가로지르는 운항패턴을 보이기 때문으로 사료된다.

3.3 PARK Model을 활용한 위험성 평가

3.3.1 PARK Model의 개요

PARK Model은 한국 연안 지역 특성 및 선박 운항자의 의식을 기반으로 한 해상 교통 위험도 평가 모델로 해기사를 대상으로 설문조사를 통하여 해상교통안전에 영향을 줄 수 있는 요소를 고려하여 구축되었다. 그리고 회귀 분석을 통하여 각 요소의 영향을 결정하고, 식(4)에 의하여 정량적인 값으로 위험도를 계산한다.

Risk value = 5.081905 + type factor + ton factor + length factor + width factor + career factor + license factor + position factor + (0.002517 × LOA) + crossing factor + side

$$\text{factor} + \text{in/out harbor factor} + \text{speed factor} - (0.004930 \times \text{speed difference}) - (0.430710 \times \text{distance}) \quad (4)$$

모델에 의해 계산된 위험도는 선박의 전장, CPA(Closest Point of Approach) 및 TCPA(Time to Closest Point of Approach)에 따라 조정되며, 일반적으로 위험도 5이상을 위험하다고 평가한다(Nguyen, X. T., 2014).

3.3.2 PARK Model을 활용한 위험성 평가 결과

PARK Model을 활용하여 등부표 접촉사고 위험성을 평가하기 위하여 등부표를 선회반경 크기의 정지한 장애물로 간주하고 3일간의 GICOMS 자료를 기반으로 해상교통 위험도를 산출했다. 해상교통 위험도는 제5항로에서 최대 항로폭을 가진 가덕수도 입구의 한쪽 항로폭이 1,200m 임을 고려하여 각 등부표별로 거리가 1,200m 이내인 선박을 대상으로 분석했으며, 위험도 5~6은 접촉사고 위험 가능성이 존재, 6이상은 접촉사고 위험 현존성이 존재하는 것으로 구분하여 분석했다.

Table 5는 각 등부표별로 거리가 1,200m 이내의 선박과의 해상교통위험도를 분석한 결과를 나타낸다.

Table 5 Result of marine traffic risk analysis by PARK model

(Unit: vessels)

Buoy name	Total	F[3 ≤ Risk < 5]	F[5 ≤ Risk < 6]	F[6 ≤ Risk]
No.1	346	332	14 (4.05%)	0 (0.00%)
No.2	1,804	1,705	99 (5.49%)	0 (0.00%)
No.3	396	378	18 (4.55%)	0 (0.00%)
No.4	1,487	1,328	157 (10.56%)	2 (0.13%)
No.5	586	573	13 (2.22%)	0 (0.00%)
No.6	1,244	1,101	143 (11.50%)	0 (0.00%)
No.7	758	674	84 (11.08%)	0 (0.00%)
No.8	989	907	82 (8.29%)	0 (0.00%)
No.9	1,441	1,402	39 (2.71%)	0 (0.00%)
No.10	1,427	1,373	54 (3.78%)	0 (0.00%)
No.11	1,688	1,572	116 (6.87%)	0 (0.00%)
No.12	728	706	22 (3.02%)	0 (0.00%)
No.101	4,602	4,535	67 (1.46%)	0 (0.00%)
No.103	4,448	4,340	108 (2.43%)	0 (0.00%)
No.104	1,070	1,037	33 (3.08%)	0 (0.00%)
No.105	4,467	4,338	128 (2.87%)	1 (0.02%)
No.106	1,226	1,132	94 (7.67%)	0 (0.00%)
No.107	1,842	1,662	178 (9.66%)	2 (0.11%)
No.108	1,401	1,315	86 (6.14%)	0 (0.00%)
No.109	4,365	4,074	291 (6.67%)	0 (0.00%)
No.110	2,436	2,337	99 (4.06%)	0 (0.00%)
No.111	4,933	4,638	293 (5.94%)	2 (0.04%)
No.112	8,469	8,416	53 (0.63%)	0 (0.00%)
No.113	7,747	7,428	309 (3.99%)	10 (0.13%)
No.118	9,953	9,865	88 (0.88%)	0 (0.00%)
No.A	906	856	50 (5.52%)	0 (0.00%)
No.B	1,369	1,260	109 (7.96%)	0 (0.00%)
No.C	1,533	1,369	164 (10.70%)	0 (0.00%)

등부표와의 거리가 1,200m 내 선박 중 위험도 6이상으로 위험이 현존하는 선박의 비율은 부산항신항 4호 0.13%, 부산항신항 내항항로 113호 0.13%, 부산항신항 내항항로 107호 0.11%, 부산항신항 내항항로 111호 0.04%, 부산항신항 내항항로 105호 0.02%로 분석됐다. 또한 위험도 5~6으로 접촉사고 위험 가능성이 존재하는 선박의 비율이 높은 5개 등부표를 살펴보면 부산항신항 6호가 11.50%로 가장 높았고, 부산항신항 7호가 11.08%, 부산항신항 중앙C호 10.70%, 부산항신항 4호 10.56%, 부산항신항 내항항로 107호 9.66%로 높게 나타났다.

Fig. 11은 위험도 6이상과 위험도 5~6 선박의 비율이 높은 상위 5개 등부표를 표시한 그림이다.



Fig. 11 Top 5 buoys with high risk by PARK Model

부산항신항 내항항로의 4개 등부표에서 접촉사고 위험이 현존하는 선박의 비율이 높은 것으로 나타난 것은 항로폭이 좁아 등부표와 가깝게 항해하기 때문인 것으로 추정된다. 또한 접촉사고 가능성이 존재하는 선박의 비율이 높은 부산항신항 4호, 6호, 7호는 IWRAP MkⅡ의 접촉가능 빈도추정과 마찬가지로 항로를 따르지 않는 선박들이 항로를 가로지르는 운항패턴을 보이기 때문으로 사료되며, 중앙C호는 신항과 마산항의 분기점으로 경계해역 인근에 위치하기 때문인 것으로 사료된다.

3.4 소결론

부산항 제5항로의 등부표 접촉사고 위험성을 평가하기 위하여 10년간 발생한 등부표 접촉사고 현황, IWRAP MkⅡ,

PARK Model 위험도 세 가지 방법을 기반으로 각 등부표별 접촉사고 위험성을 평가했다. 그 결과, 선박과의 접촉 가능성이 높은 등부표가 완전히 일치하지는 않는 것으로 확인되었다. 그 이유는 IWRAP MkⅡ는 교통 분포 위주로 계산이 되는 반면에, PARK Model은 장애물과의 거리에 대한 요소가 계산에 가장 큰 비중을 차지하며, 실제 접촉사고는 교통 관련 요소뿐만 아니라 모든 관련 요소들이 복합적으로 작용하여 나타난 결과이기 때문인 것으로 사료된다. Table 6은 종합적인 평가 결과를 나타낸 것이다.

Table 6 Comprehensive assessment results using marine traffic assessment index

Buoy name	Contact accident history (accidents/10years)	Assessment results based on IWRAP MkⅡ (accident candidates/year)	Assessment results based on PARK Model (%)
No.1	4	0.014	4.05
No.2	5	0.821	5.49
No.3	0	0.033	4.55
No.4	1	1.599	10.56
No.5	1	0.311	2.22
No.6	0	0.136	11.50
No.7	2	0.103	11.08
No.8	0	0.211	8.29
No.9	1	0.133	2.71
No.10	0	0.158	3.78
No.11	0	2.408	6.87
No.12	0	0.030	3.02
No.101	2	0.008	1.46
No.103	1	0.016	2.43
No.104	2	0.032	3.08
No.105	0	0.075	2.87
No.106	3	0.151	7.67
No.107	6	0.035	9.66
No.108	0	0.029	6.14
No.109	0	0.008	6.67
No.110	0	0.015	4.06
No.111	0	0.040	5.94
No.112	0	0.009	0.63
No.113	1	0.334	3.99
No.118	0	0.005	0.88
No.A	1	0.268	5.52
No.B	0	0.432	7.96
No.C	3	2.247	10.70

Table 5에서 보는 바와 같이 등부표 접촉사고를 조사한 결과, No.107 - No.2 - No.1 - No.C - No.106 등부표에서 접촉사고가 많이 발생했고, IWRAP MkⅡ를 이용하여 연간 접촉사고 발생 가능건수를 추정할 결과, No.11 - No.C - No.4 - No.2 - No.B 등부표 순서로 추정되는 접촉사고 발생 건수가 높은 것으로 나타났다. 또한 PARK Model을 이용하여 접촉사고 위험 가능성을 예상한 결과, No.6 - No.7 - No.C - No.4 - No.107 순서로 접촉사고 위험 가능성이 높은 것을 확인했다.

세 가지 평가 결과 모두 No.C 등부표가 접촉사고 위험이 큰 것으로 평가되었고, No.2, No.4, No.107 등부표는 두 가지 평가 결과에서 높은 접촉사고 위험을 나타냈다. 접촉사고 위험이 높은 등부표는 경계해역 인근에 위치하거나, 항로를 가로지르는 선박들이 항해하는 인근, 항로폭이 좁은 부산항신항 내항항로의 방파제 인근에 위치하는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 교통흐름을 반영한 등부표 접촉사고의 위험성을 평가하는 것을 목적으로 하며, 등부표 설치기수가 많고 등부표 접촉사고가 많이 발생하는 부산항 제5항로로 대상해역으로 설정하여 등부표 접촉사고 위험성을 세 가지 방법으로 평가했다. 등부표 접촉사고 현황, IWRAP MkII, PARK Model을 기반으로 위험성을 평가한 결과, No.C 등부표가 접촉사고 위험이 큰 것으로 평가되었고, No.2, No.4, No.107 등부표는 두 가지 평가 결과에서 높은 접촉사고 위험을 나타냈다. 추가로 부산항신항과 마산항의 분기점인 경계해역 인근에 위치한 등부표와 가덕수도 입구 에 위치한 등부표, 부산항신항 내항항로의 방파제 인근에 위치한 등부표의 접촉사고 및 접촉사고발생 확률이 높은 것으로 나타났다.

이는 경계해역은 마산항 입출항 선박과 부산항신항 입출항 선박으로 교통흐름이 복잡하며, 가덕수도 입구는 항로를 따르지 않는 선박들이 항로를 가로지르는 운항패턴을 보이고, 부산항신항 내항항로의 방파제 인근은 항로폭이 좁기 때문인 것으로 사료된다.

본 연구는 등부표 사고 위험성을 평가할 수 있는 통합 모델을 만드는 기초 자료로 활용될 수 있으며, 추후에 다양한 해역의 접촉사고 위험성을 평가하고, 미래교통량을 추정·적용하여 등부표 신설 시 안전한 등부표 설치 위치를 선정할 수 있을 것이다.

References

[1] Busan Regional Office of Oceans and Fisheries(2015), "Research on Relocation of Marine Aids to Navigation of Main Route at Busan Port", Ch. 6, pp. 21-73.

[2] Busan Regional Office of Oceans and Fisheries(2017), "Notification of Regulations on Busan Port Navigation Act", No. 2017-8(2017), pp. 15-16.

[3] IALA(2010), "IALA Waterway Risk Assessment Programme (IWRAP) Theory", pp. 18-21.

[4] Jeong, T. G. and Gug, S. G.(2013), "Theory of Marine Aids to Navigation", Sejong Publisher, p. 13.

[5] Kim, A. Y., Lee, Y. J., Park, S. K., Oh, J. Y. and Kim, Y. G.(2014), "A Study on the AtoN Operational Software Development for the AtoN Management and

the Decision Support of its Placement Planning", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 5, pp. 543-551.

[6] Kim, J. H., Gug, S. G., Yun, J. H. and Jeong, T. G.(2008), "The User Analysis for Visual Range and Arrangement of Light-buoy on the Channel of the Domestic Trade-port", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 5, pp. 327-332.

[7] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency(2015), "Tidal current charts(busan to yeosu)", p. 10.

[8] Korea Meteorological Administraion(2017), "Monthly report of marine data", pp. 109-119.

[9] Ministry of Oceans and Fisheries(2015), "Annual Report of Marine Aids to Navigation, Cree Communication", pp. 21-24.

[10] Ministry of Oceans and Fisheries(2017), "Management of History Cards", <http://www.aton.kr/>.

[11] Ministry of Oceans and Fisheries(2018), "Statistical Yearbook of Oceans & Fisheries", pp. 364-366, p. 458.

[12] Moon, B. S. and Kim, T. G.(2019), "Study on Development of Social Cost Estimating Model for Aids to Navigation Accident(II)", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 3, pp. 166-171.

[13] Moon, B. S., Gug, S. G. and Lee, Y. T.(2018), "Study on the Development of Social Evaluation Model for Aids to Navigation Accident(I)", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 42, No. 3, pp. 187-194.

[14] Nguyen, X. T.(2014), "A Study on the Development of Real Time Supporting System (RTSS) for VTS Officers", Ph.D. Busan: Korea maritime and ocean university, pp. 60-65.

[15] Omar, F. E.(2013), "IWRAP Mk2 Introduction", In Proceedings of regional awareness seminar on safety of navigation including risk management principles, Bangkok, Thailand, 4-7 June 2013.

[16] Park, T. G., Yu, Y. S., Han, J. S. and Kim, J. U.(2019). "Quantitative Evaluation of AtoN Layout Using Simulator", In Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference. Korean Institute of Navigation and Port Research. pp. 69-71.

Received 28 October 2019

Revised 14 November 2019

Accepted 02 December 2019