

정박지 통항선박의 충돌위험 모델 개발을 위한 기초연구 - 정박지 통항선박의 안전영역 -

이진석* · 권유민** · 최정석***†

*, ** 목포해양대학교 항해학부 교수, *** 목포해양대학교 해상운송학부 교수

Basic Research for the Development of Collision Risk Model of Passing Vessels at an Anchorage (Safety Domain)

Jin-Suk Lee* · Yumin Kwon** · Jung-Suk Choi***†

*, ** Professor, Division of Maritime Science, Mokpo National Maritime University Mokpo 58625, Korea

*** Professor, Division of Maritime Transportation, Mokpo National Maritime University Mokpo 58625, Korea

요 약 : 본 연구는 충돌 사고 중에서 정박지에서 대기하고 있는 선박과 이 정박지를 통항하는 선박 간 충돌사고가 자주 발생함에 따라, 정박선 사이를 통항하는 선박의 충돌위험을 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위한 기초 연구로 통항 선박의 안전 영역을 도출하는 것이 목적이다. 이를 위해 우리나라 최대 항만인 부산항 남외항 정박지를 대상 해역으로 선정하고 정박선이 가장 많이 대기한 기간 VTS(Vessel Traffic Service) 항적 자료를 추출하여 분석하였다. 정박선 사이를 통항하는 선박의 길이(L)를 기준으로 정박선과 어느 정도의 안전한 거리(D)를 두고 통과하는지를 알기 위하여 통항 선박의 방위별 D/L 비를 구하였다. D/L 비 분포의 평균 domain을 기준으로 기존 선박 domain 범위 안으로 정박선이 존재할 비율을 분석하여 VTS 관제사의 위험 정도를 반영한 domain을 도출하였다. 추후 연구로는 정박선 사이의 최소 안전거리인 Domain-watch와 정박지 통항 선박의 안전 domain을 활용한 정박지 통항 선박의 충돌위험도 평가 및 분석을 하고, 이를 통해 VTS가 정박지를 좀 더 효율적이고 안전하게 관리하기 위한 모델을 개발하고자 한다.

핵심용어 : 충돌사고, 정박지, 안전 영역, 충돌위험, D/L 비

Abstract : The purpose of this study is to obtain a safe area for a passing vessel between anchored vessels by developing a model to predict the collision risk, frequent collisions occur between the anchored vessel and the passing vessel through the anchorage. For this, this study selected the southern anchorage of Busan port, which is the largest harbor in Korea, as the target area and extracted and analyzed VTS (Vessel Traffic Service) data during the period in which anchored vessels were the most waited. The ratio of D/L for each bearing was obtained to determine the safe distance (D) passes based on the length (L) of the passing vessel between anchored vessels. Based on the average domain of the D/L ratio distribution, the percentage of anchored vessels within the scope of the pre-studied ship's domain was analyzed to obtain a domain reflecting the degree of risk of VTSOs. Further research will evaluate and analyze the collision risk of a passing vessel using Domain-watch, the minimum safe distance between anchored vessels, and the safe domain of a passing vessel through anchorage, to develop a model for VTS to manage anchorages more efficiently and safely.

Key Words : Collision accident, Anchorage, Safe area, Collision risk, Ratio of D/L

1. 서 론

해양사고는 해양 및 내수면에서 발생한 사고로 인명피해가 주로 발생하는 충돌, 전복, 침몰, 화재·폭발, 안전사고 등을 ‘주요 사고’라 하며, 인명피해가 많이 발생하지 않는 주요

사고를 제외한 나머지 사고를 ‘단순 사고’라 한다(KMST).

최근 해양사고 통계(2015~2019)를 살펴보면, 5년간 전체 해양사고는 12,632건이 발생하였다. 이 중에서 해양사고 종류별로는 기관손상이 4,040건(32.0%), 충돌사고가 1,196건(9.5%), 전복사고가 302건(2.4%) 순으로 발생하였다. 인명피해가 발생한 주요 사고에서 가장 많은 인명피해가 발생한 사고는 충돌사고가 811명(34.8%), 좌초사고가 210명(9.0%), 전복사

* First Author : jslee@mmu.ac.kr, 061-240-7258

† Corresponding Author : jschoi@mmu.ac.kr, 061-240-7163

고가 158명(6.8%) 순으로 발생하였다(KMST, 2019). 이처럼 충돌사고는 기관손상을 제외하고 그 발생 빈도가 높을 뿐 아니라 가장 많은 인명피해를 발생시키는 사고임을 알 수 있다. 이러한 충돌사고는 항해하는 선박 간에만 발생하는 것이 아니라 정박지에서 대기하고 있는 선박과 이 정박지를 입·출항하는 선박 간에도 충돌사고가 발생하고 있다.

Fig. 1은 해양안전심판원의 위치정보도 서비스를 통해 최근 5년간(2013~2017) 부산 남외항에서 발생한 해양사고 중 충돌사고만을 조사한 결과로, 남외항 정박지 내에서 발생한 충돌사고 총 16건 중에서 8건(50%)이 정박선 사이로 통항하는 선박과 정박 대기 중인 선박이 충돌하여 발생한 사고로 그 발생 빈도가 적지 않음을 알 수 있다(KMST).

이처럼 부산항 남외항 정박지는 입출항 대기, 선용품 및 유류 수급, 감수보존 선박 대기, 선원 교대, 선박 수리 등 다양한 목적으로 많은 선박이 정박지를 이용함에 따라 상대적으로 접촉·충돌·해양오염 등 해양사고 위험성이 높은 지역임을 알 수 있다.

따라서 VTS(Vessel Traffic Service)에서 정박지를 안전하게 관리하기 위한 방안으로 정박선과 정박선 사이를 항해하는 선박 간의 충돌위험을 평가하기 위한 연구가 필요하며, 이를 위한 기초 연구로 정박선 사이를 통과하는 선박의 안전영역을 도출할 필요성이 있다.

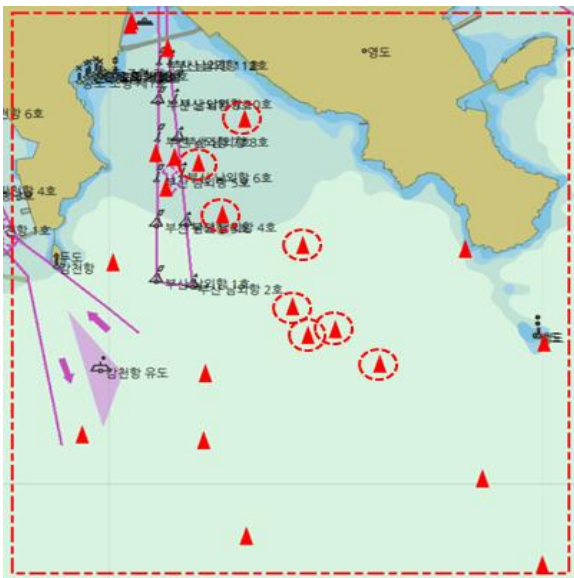


Fig. 1. Positions of collision accident in Busan anchorage.

충돌사고를 예방하기 위한 최근 연구로는 항해사의 인적 오류를 줄이기 위해 해기사의 행동오류를 분석하여 충돌 회피의 성공과 실패에 대한 차이를 식별한 연구(Yim, 2019)와 선박 근접 상황에서 항해사의 인적 특성이 충돌위험도에 미치는 영

향을 분석한 연구(Kim, 2020) 등이 있다. 그리고 충돌 회피 동작 시 정량적인 지수를 얻기 위하여 충돌 위험도를 퍼지 추론한 연구(Namgung et al., 2019; Park and Jeong, 2020)와 분산 확률 알고리즘을 충돌 회피에 적용한 연구(Kim, 2019) 등이 있다.

정박지의 개선 방안과 관련된 연구로는 여수·광양항의 지정된 정박지 선박수용능력을 계산하여 정박지의 이동, 확장, 폐지 등의 개선방안을 제시한 연구(Lee, 2017a), 시뮬레이션 알고리즘으로 울산항 정박지의 점유율과 가동률 분석을 통해 필요 정박지 면적을 분석하고 적정 정박지 규모를 제안한 연구(Park, 2016; Park et al., 2016) 등이 있다.

부산항 남외항 정박지의 안전관리와 관련된 연구 결과로는 부산항만공사(Busan Port Authority, BPA)에서는 정박 구역의 범위 및 정박 구역의 효율적 관리방안에 관한 연구(BPA, 2015)와 영역감시(Domain Watch) 분석을 통한 VTS(Vessel Traffic Service)의 효율적인 남외항 정박지 관리 방안을 제시한 연구(Lee and Song, 2018)가 있다.

본 연구는 VTS에서 부산항 남외항 정박지와 같은 집단 정박지를 효율적이고 안전하게 관리하기 위해 정박선과 정박선 사이를 항해하는 선박 간의 충돌위험을 예측하기 위한 기초 연구로, 2장에서 선박 점용영역과 관련된 국내외 연구와 정박지 안전영역을 분석한 연구를 살펴보고, 3장에서 정박선이 최대로 수용되었을 때 정박선 사이를 통과하거나 입출항하는 선박이 정박선과 방위별 안전거리를 어느 정도 유지하고 통과하는지를 선박 길이를 기준으로 분석함으로써 정박지를 통항하는 선박의 안전영역을 도출하고, 4장에서 연구의 한계점 및 향후 연구 계획을 제시한다.

2. 정박선 안전영역 연구 고찰

2.1 선박 점용영역 관련 선행 연구

Fujii는 1960년대 후반 일본 해역을 관측하여 Fig. 2와 같이 선박을 중심으로 선박길이(L)에 대하여 넓은 수역(a)은 장반경 8L, 단반경 3.2L, 좁은 수역(b)은 장반경 6L, 단반경 1.6L로 타원형(Ellipse)을 도출하고, 이를 ‘본선을 조종하는 항해사가 타 선박이나 장애물의 진입을 허용하지 않는 본선 주위의 일정한 영역(Fujii and Tanaka, 1971)’이라 정의하였다.

Coldwell은 제한 수로에서 마주침 상황과 추월 상황에 따라 점용영역을 Fig. 3과 같이 제안하고, 국제해상충돌예방규칙(COLREG 73/78)이 항해사에게 미치는 영향을 반영하여 마주침 상황에서는 선박의 중심을 좌현으로 0.75L, 선미로 1.1L 이동하였다(Coldwell, 1983).

우리나라 선박 운항자의 통항에 필요한 최소 안전 이격거리는 선·수미 방향은 식(1), 좌·우현은 식(2)와 같으며, 시정이 양호한 구간은 장반경 7.5L, 단반경 5.2L로 제시하였다(Park et al., 2010).

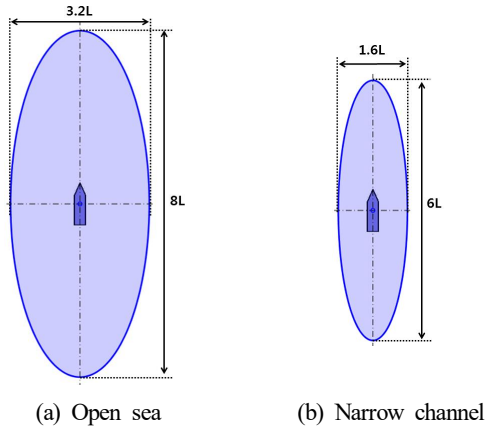


Fig. 2. Fujii's Ship Domain.

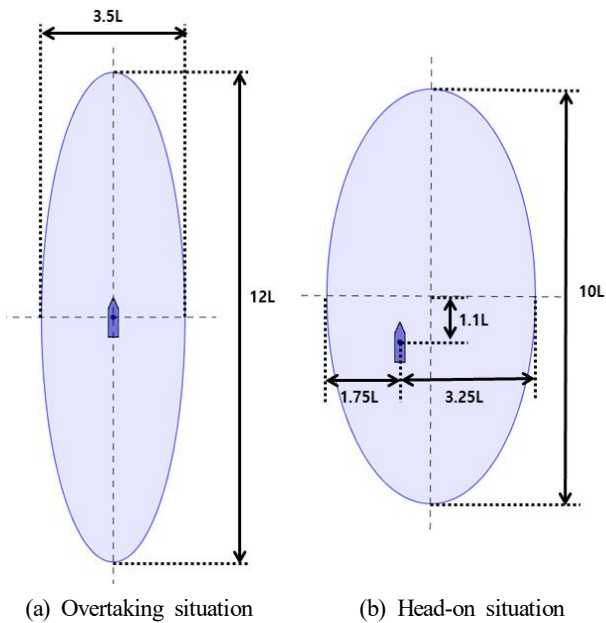


Fig. 3. Coldwell's Ship Domain.

$$\text{Fore} = 4.41(\pm 1.84)L, \text{ Aft} = 3.31(\pm 1.23)L \quad (1)$$

$$S_{PB} = 2.62(\pm 1.16)L, \text{ } S_{SB} = 2.61(\pm 1.16)L \quad (2)$$

여기서, Fore는 선수 장반경, Aft는 선미 장반경, S_{PB} 는 좌현 단반경, S_{SB} 는 우현 단반경을 의미한다.

또한 항만에 인접한 연안 해역에서 선박 간 근접 통과 시 우리나라 VTS 관제사의 최소 안전거리를 선박 길이로 환산하여 조사한 결과, 장반경 $11.3L(\pm 0.95)$, 단반경 $8.7L(\pm 0.87)$ 로 선박의 중심이 좌현 선미 방향으로 $0.2L, 1.2L$ 이동한 타원형을 도출하였다(Lee, 2017b).

2.2 정박지에서의 안전영역 선행 연구

PIANC(2014)에서는 1척의 선박이 안전하게 정박할 수 있는 최소 반경(R_A)을 선박길이와 수심, 그리고 풍속 및 저질의 상태에 따라 닻끌림 거리(anchor drag)와 최소 안전거리(safety clearance)를 더하여 식(3)과 같이 나타낸다.

$$R_A = L + 5D + \text{anchor drag} + \text{safety clearance} \quad (3)$$

anchor drag ; 30 m, 90 m, 150 m

safety clearance ; $L \times 10\%$ or 20 m

여기서, L은 선박길이, D는 수심을 의미한다.

우리나라는 ‘항만 및 어항 설계기준(2014)’에 1척당 정박 필요 면적을 선박 길이, 수심, 묘박 방법 그리고 저질 상태에 따라 식(4)와 같다(MOF, 2014).

$$\text{IF mooring } R_A = L + 4.5D + a ; \quad (4)$$

good bottom ($a = 0$ m), bad bottom ($a = 25$ m)

$$\text{IF lying single anchor } R_A = L + 6.0D + a ;$$

good bottom ($a = 0$ m), bad bottom ($a = 30$ m)

부산 남외항 정박지와 같은 집단 정박지에서 다수의 선박이 밀집해서 정박 중일 때 VTS의 효율적인 정박지 관리를 위해 정박선간 최소 영역감시(Domain Watch) 반경 $2.85L$ 를 도출하였고(Lee and Song, 2018), 2018년 1월1일 12시경 실제 정박한 선박에 적용하면 Fig. 4와 같이 안전거리를 확보하지 않고 근접하여 투묘한 선박을 확인할 수 있다.

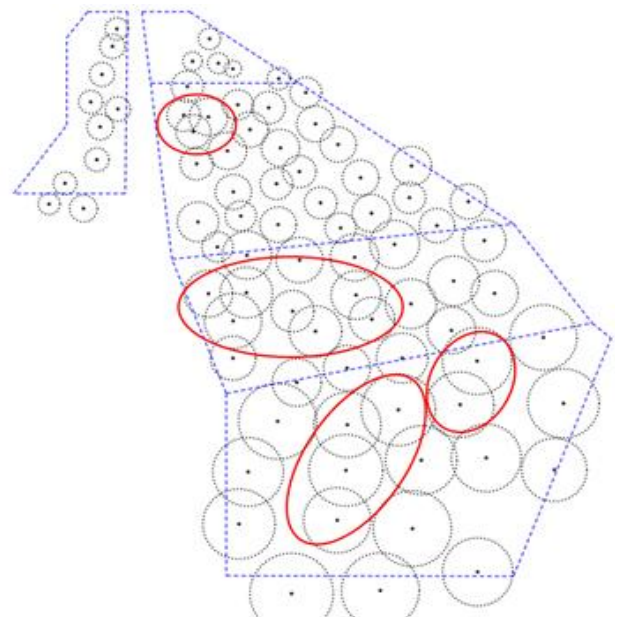


Fig. 4. Domain-Watch for each anchored vessel, Jan 1st 2018.

3. 정박지 통항 선박의 안전영역 연구

3.1 연구 방법

본 연구에서는 정박선 사이를 통항하는 선박의 안전영역을 구하기 위하여 부산항 VTS의 항적 데이터를 추출하였고, Fig. 5와 같이 정박지에 가장 많은 선박이 투묘하여 여유 공간이 없는 상황에서 이 정박선 사이를 통항하는 선박 길이를 기준으로 정박선과의 거리를 방위별로 구하였다.

조사 기간은 부산 남외항 정박지에 정박선이 가장 많이 투묘한 2017년 12월 31일부터 2018년 1월 2일까지 3일 동안이다.

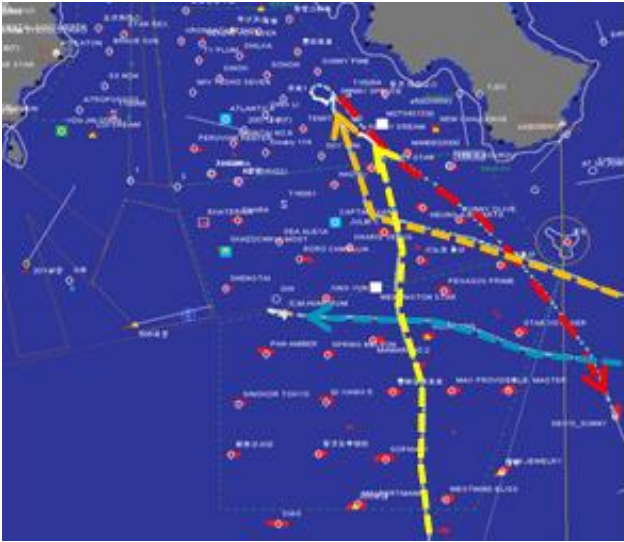


Fig. 5. Positions of collision accident in Busan anchorage.

Fig. 6은 각 정박선 사이를 통과하는 선박이 인접한 정박선 i, j 와의 거리(D)와 선박 선수(HDG)에서 정박선에 대한 상대 방위(θ)를 구하는 개념도다. θ 는 선박의 선수방위(HDG)를 기준으로 우현 방향은 $0^\circ \sim +180^\circ$ 좌현 방향은 $0^\circ \sim -180^\circ$ 로 계산한다.

정박지를 통항하는 선박이 인접한 정박선을 통과하면서 선박의 선수(HDG)를 기준으로 i 정박선과의 거리(D)는 식(5), 상대 방위(θ)는 식(6)과 같다.

$$D_{oi}[m] = \cos^{-1}(\sin y_o \cdot \sin y_i + \cos y_o \cdot \cos y_i \cdot \cos(x_i - x_o)) \cdot earthradius \quad (5)$$

항해하는 선박 경위도 (x_o, y_o), i 정박선 경위도 (x_i, y_i), 선박 HDG 벡터 경위도 (x_u, y_u) 라고 하면,

$$\theta [\text{deg}] = \cos^{-1}\left(\frac{x_u x_i + y_u y_i}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2} \cdot \sqrt{(x_o - x_i)^2 + (y_o - y_i)^2}}\right) \quad (6)$$

여기서, $(x_o - x_i)y_u - (y_o - y_i)x_u < 0$ 면 θ 는 (-)다.

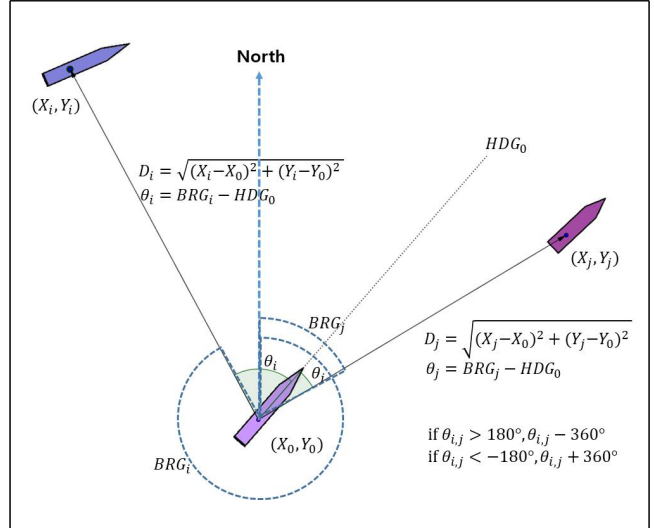


Fig. 6. Conceptual Diagram of calculating distance by bearing.

조사 기간 동안 정박선 사이를 통항하는 선박의 방위별 거리(D)를 통항 선박 길이(L)를 기준으로 한 D/L 비는 총 3,002개를 얻었고, 이 중 D가 1,000 m 이상인 데이터를 필터링하여 총 1,451개의 데이터를 추출하였다. 정박선 사이를 통과하는 선박의 선수(0°)에서 우현 180° , 좌현 -180° 로 방위별 D/L 데이터를 표시하면 Fig. 7과 같은 분포가 나타난다.

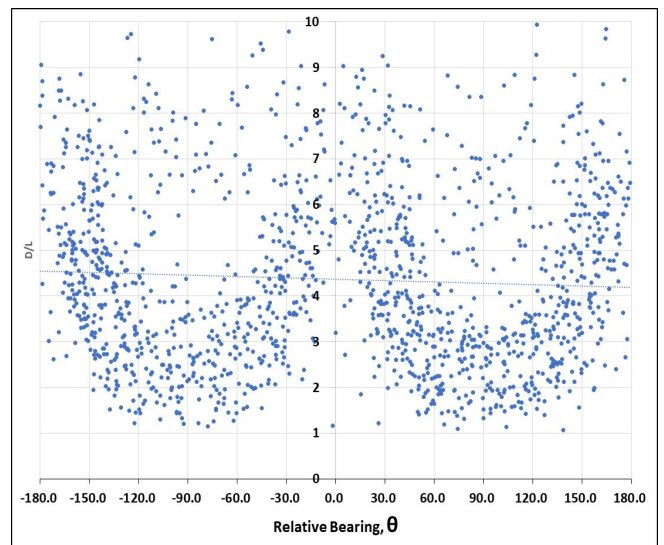


Fig. 7. Scatter for D/L of passing vessels.

3.2 선박 점용영역 분석 결과

통항 선박의 Θ 별 D/L 값에 대하여 -15° 에서 $+15^\circ$, $+15^\circ$ 에서 $+45^\circ$ 로 30도 단위로 분류하여 12방위에 대한 D/L의 평균과 표준편차를 구하면 Table 1과 같다.

Table 1에서 선·수미 방향, 좌·우현 방향의 D/L 평균값을 이용하여 장반경 6.1L, 단반경 3.5L 그리고 선박 중심을 선미로 0.3L, 좌현으로 0.17L 이동한 domain이 나온다.

Table 1. Statistical result of D/L for each bearing

$\Theta [^\circ]$	D/L	Mean(μ)	S. Dev (σ)	95% Con. Interval	
				Lower	Upper
-15 ~ 15		6.432	2.417	5.832	6.933
15 ~ 45		4.950	1.720	4.684	5.216
45 ~ 75		3.475	1.685	3.185	3.765
75 ~ 105		3.389	1.834	2.751	3.726
105 ~ 135		3.711	1.979	3.352	4.071
135 ~ 165		4.941	2.086	4.617	5.265
165 ~ -165		5.833	2.378	5.153	6.413
-165 ~ -135		4.937	1.683	4.700	5.173
-135 ~ -105		3.971	2.102	3.603	4.339
-105 ~ -75		3.731	2.297	2.963	4.200
-75 ~ -45		3.831	2.245	3.397	4.266
-45 ~ -15		5.108	2.411	4.704	5.513

2장에서 언급한 선박 점용영역에 관한 선행 연구에서 제시한 domain과 Table 1의 결과로 도출한 domain, 그리고 방위별 D/L 분포를 모두 표시하면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 Table 1의 결과로 도출된 평균 domain(red)과 VTS 관제사의 최소 안전거리를 반영한 domain(orange)의 범위 안으로 다수의 정박선이 근접하여 통과하는 것으로 확인된다. 반면에 좁은 수로에서의 Fujii domain(aqua)의 범위 안으로는 정박선이 거의 존재하지 않음을 확인할 수 있다.

본 연구는 VTS에서 부산항 남외항 정박지와 같은 집단 정박지를 효율적이고 안전하게 관리하기 위한 방안으로 정박선과 정박선 사이를 통항하는 선박의 충돌위험을 예측하기 위한 통항 선박의 안전 영역을 도출하는 것이므로, Fujii와 정박선이 거의 존재하지 않는 최소 domain보다는 VTS 관제사가 선박의 근접 상황을 효율적으로 관리하기 위해서는 이를 처리할 수 있는 시간적인 여유가 충분한 domain이 필요하다.

따라서 도출한 평균 domain 범위 안으로 정박선이 존재할 비중이 100%이고 이를 $p=1.0$ 이라 하면, 각 domain에 대하여 p 를 구하면 Table 2와 같다.

VTS 관제사 설문에서 설정한 domain 선상에 타 선박이 존재할 때 느끼는 위험 정도가 최대 1.0일 때 개인이 느끼는 위험 정도를 조사한 결과, 평균 .657(표준편차 0.1, 95% 신뢰구간 .631~.682)로 조사되었다(Lee and Song, 2018).

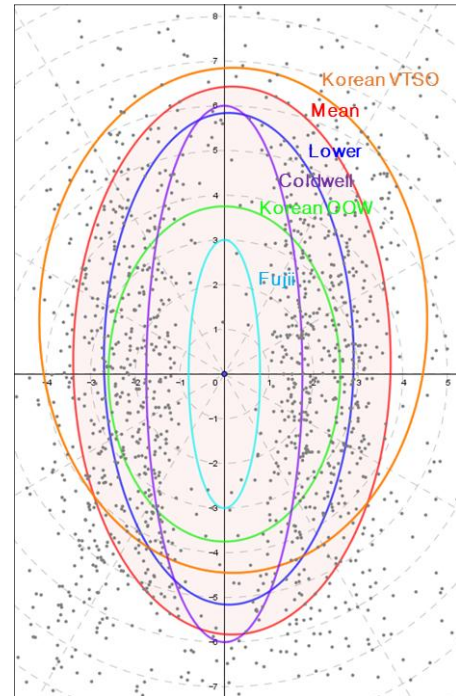


Fig. 8. Ship's domains and scatter of D/L.

Table 2. Result of percentage for ship's domains

Domain	p	N	
Result of survey	Mean	1.00	911
	Lower	.70	638
	Upper	1.14	1035
Fujii	.01	8	
Coldwell	.29	263	
OOW of Korea	.45	406	
VTSO of Korea	1.03	941	

Note. OOW: Officer of Watch, VTSO: Vessel Traffic Service Operator, N: Number of ships in domain

이에 본 연구에서 얻은 평균 domain에서 VTS 관제사의 위험 정도를 반영하면 p 가 .60~.70 범위에 있는 domain을 적용하는 것이 적절하다 판단되며, 이를 만족하는 domain으로 평균 domain의 95% 신뢰구간 중 하한에 해당하는 domain이 있다. 이 domain의 장반경은 5.5L, 단반경은 2.8L이며, 선박의 중심이 선미로 0.34L, 좌현으로 0.1L 이동한 타원이다.

4. 결론

본 연구는 충돌 사고 중에서 항해하는 선박 간에 발생하는 사고 외에도 정박지에서 대기하고 있는 선박과 이 정박지를 통항하는 선박 간에도 충돌사고가 자주 발생하므로 이에 대한 대책 마련과 연구가 필요하여 진행하게 되었다.

정박지에서 충돌 사고를 방지하기 위해서는 선박 운항자의 안전거리 확보와 주의 운항이 필수적인 요소지만 이러한 항만 시설을 효율적이고 안전하게 관리하는 VTS의 기능도 주요 요소에 해당한다.

따라서 본 연구는 정박선과 정박선 사이를 통항하는 선박의 충돌위험을 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위한 기초 연구로 통항 선박의 안전 영역을 도출하기 위하여 우리나라 최대 항만인 부산항 남외항 정박지를 대상 해역으로 선정하고 정박선이 가장 많이 대기하여 정박지가 포화 상태인 연말과 연초를 조사 기간으로 VTS 항적 자료를 분석하였다.

연구 방법은 정박선 사이를 통항하는 선박의 길이를 기준으로 정박선과 어느 정도의 안전한 거리를 두고 통과하는지를 알기 위하여 방위별 D/L 비 분포를 구하고, 이 D/L 비 분포에 따른 평균 domain과 기존 제시된 선박 점유 영역을 비교하고 VTS 관제사의 위험 정도를 반영한 domain을 도출하였다.

본 연구에서는 다른 항만 정박지의 데이터와 서로 비교하지 않았기 때문에 본 연구에서 도출한 domain을 모든 항만의 정박지를 통항하는 선박의 안전영역으로 적용하는데 한계가 있으나, 좁은 수로 등에서 사용되는 기존 domain보다 그 범위가 넓기 때문에 통항하는 선박의 최소 안전영역으로 적용 가능하리라 판단된다.

또한 본 연구의 한계로 VTS의 항적 데이터만을 이용하여 분석하였기에 정박선의 선수 방향에 따른 점유 면적을 반영하지 못한 부분과 당시 바람 방향 및 세기, 조류 등 외부 환경적 요소를 고려하지 못한 부분이 있다.

정박지 통항 선박 domain에 대한 좀 더 객관적인 결과를 도출하기 위하여 통항 선박의 속력에 따른 domain의 변화 정도를 연구하고 AIS 정적 정보 또는 레이더 영상 등을 활용하여 정박선의 선수 방향에 따른 통항 선박의 domain 변화 등에 관한 추가적인 연구가 필요하리 판단된다.

향후 연구 과제로는 선행연구에서 확인된 정박선간의 최소 안전거리인 Domain-watch(2.85 L)와 정박지 통항 선박의 안전 domain을 이용하여 정박지 통항 선박의 충돌위험도를 평가·분석하여 VTS 차원에서 정박지를 좀 더 효율적이고 안전하게 관리하기 위한 지속적인 연구를 진행할 예정이다.

Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. NRF-2019R1G1A1008299).

References

- [1] BPA(2015), Busan Port Authority, A Study on Efficient Management of N-anchorage and North Harbor Mooring Facilities in Busan Port, Chapter 4, pp. 69-78.
- [2] Coldwell, T. G.(1983), Marine traffic behaviour in restricted waters, *Journal of Navigation*, 36(3), pp. 430-444.
- [3] Fujii, Y. and K. Tanaka(1971), Traffic capacity, *Journal of Navigation*, 24(4), pp. 543-552.
- [4] Kim, D.(2019), Analysis of a Distributed Stochastic Search Algorithm for Ship Collision Avoidance, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 25, No. 2, pp. 169-177.
- [5] Kim, D. H.(2020), A Study on the Influence of the Navigator's Personal Characteristics on the Perceived Collision Risk in Close-quarter Situations, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 26, No. 6, pp. 644-655.
- [6] KMST(2019), Korean Maritime Safety Tribunal, Statistics of Marine Accident for the Past 5 Years, Ministry of Oceans and Fisheries, South Korea.
- [7] Lee, H. H.(2017a), Improvement Plans for Anchorage at Yeosu Kwangyang Port, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 23, No. 1, pp. 17-25.
- [8] Lee, J. S.(2017b), The Development of the Ship Collision Risk Model from the VTSSO's Viewpoint, Doctoral thesis, Korea Maritime Ocean and University.
- [9] Lee, J. S. and C. U. Song(2018), The Efficient Anchorage Management of VTS through Analysis of Domain Watch, *The Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 201-206.
- [10] MOF(2014), Ministry of Oceans and Fisheries, Guidelines of Port and Harbor Design, Chapter 6 Water Facilities, pp. 710-713.
- [11] Namgung, H., J. S. Jeong, and J. S. Kim(2019), Inference System of Collision Risk using Ship Near-Collision Data, *Journal of Korean Institute of Intelligence System*, Vol. 29, No. 5, pp. 395-402.

- [12] Park, J. and J. S. Jeong(2020), Assessment of Ship Collision Risk in Coastal Waters by Fuzzy Comprehensive Evaluation, Journal of Korean Institute of Intelligence System, Vol. 30, No. 4, pp. 325-330.
- [13] Park, J. M.(2016), A Study on the Method of Representing Anchorage Using Occupancy Rate; Simulation Based on Ulsan E Anchorage, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Research Paper, Vol. 22, No. 2, pp. 167-173.
- [14] Park, J. M., G. H. Yun, H. D. Jeon, and G. Y. Kong(2016), The Proper Capacity of Anchorage in Ulsan Port with Reference to the Anchorage Operating Rate, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 5, pp. 380-388.
- [15] Park, Y. S., J. Y. Jeong, and J. S. Kim(2010), A Study on the Minimum Safety Distance between Navigation Vessels based on Vessel Operator's Safety Consciousness, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 17, No. 47, pp. 401-402.
- [16] PIANC Report No. 121(2014), Harbour Approach Channels Design Guidelines, The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Chapter 3, pp. 99-102.
- [17] Yim, J. B.(2019), Analysis of Seafarers' Behavioral Error on Collision Accident, The Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 4, pp. 237-242.

Received : 2021. 01. 12.

Revised : 2021. 02. 16. (1st)

: 2021. 02. 23. (2nd)

Accepted : 2021. 02. 25.